

TUGAS AKHIR – MO.141326

**ANALISIS LOKAL KEKUATAN *CHAIN CONNECTOR* PADA  
*EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM* FLNG MASELA DENGAN  
KONFIGURASI *CHAIN LINE***

PATRIA RAHMADHANI

NRP. 4313100145

Dosen Pembimbing:

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017



*LOCAL STRENGTH ANALYSIS ON CHAIN CONNECTOR OF  
EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM MASELA FLNG WITH  
CHAIN LINE CONFIGURATION*

PATRIA RAHMADHANI

NRP. 4313100145

Supervisors:

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.sc., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 60111

2017

**ANALISIS LOKAL KEKUATAN *CHAIN CONNECTOR* PADA  
*EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM* FLNG MASELA  
DENGAN KONFIGURASI *CHAIN LINE***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PATRIA RAHMADHANI**

NRP. 4313100145

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Eko B Djatmiko, M.Sc., Ph.D. .... (Pembimbing 1)

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. .... (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Rudi Walujo P., S.T., M.T. .... (Penguji)

4. Yoyok Setyo H., S.T., M.T., Ph.D. .... (Penguji)

5. Ir. Murdjito, M.Sc. Eng. .... (Penguji)

## ABSTRAK

### ANALISIS LOKAL KEKUATAN *CHAIN CONNECTOR* PADA *EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM* FLNG MASELA DENGAN KONFIGURASI *CHAIN LINE*

**Nama Mahasiswa** : Patria Rahmadhani  
**NRP** : 4313100145  
**Departemen** : Teknik Kelautan FTK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof.Ir.Eko Budi Djatmiko M.Sc. Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

FLNG merupakan anjungan produksi dan fasilitas penyimpanan yang efisien untuk menyalurkan gas bumi yang dieksploitasi. Dalam masa operasionalnya FLNG membutuhkan system tambat untuk menjaganya tetap pada posisinya, salah satu yang umum digunakan adalah *Turret Mooring System*. Pada tugas akhir ini akan dianalisis mengenai kekuatan pada salah satu bagian vital *Turret Mooring System* yaitu *chain connector* yang terletak pada mooring linenya, berupa H-Link Connector yang saling menghubungkan antar *chain line*. Analisa awal dilakukan dengan mencari *tension* maksimal yang terjadi pada konfigurasi 12 *mooring lines* dan 9 *mooring lines* dengan metode *time domain analysis* selama 3 jam yang akan dipakai sebagai bahan input pembebanan pada analisa lokal kekuatan *chain connector*. Analisa lokal kekuatan *chain connector* dilakukan dengan tanpa chain dan juga menggunakan variasi 1 pasang dan 2 pasang *chain*. Tegangan maksimum *chain connector* pada konfigurasi 12 *mooring lines* terjadi pada pemodelan *chain connector* tanpa *chain* dengan besar tegangan *von-mises* maksimum sebesar 288,56 MPa dan nilai deformasi maksimum sebesar 1,349 mm. Sementara pada konfigurasi 9 *mooring lines* tegangan lokal maksimum *chain connector* juga terjadi pada pemodelan *chain connector* tanpa *chain* dengan besar tegangan *von-mises* maksimum sebesar 359,22 MPa dengan nilai deformasi maksimum sebesar 2,97 mm. Semua hasil tegangan *von-mises* yang terjadi masih dibawah 90% yield strength material atau sebesar 369 MPa, maka struktur dinyatakan aman untuk beroperasi.

Kata Kunci—*Turret mooring system, tension, FLNG, chain connector, tegangan*



## ABSTRACT

### LOCAL STRENGTH ANALYSIS ON CHAIN CONNECTOR OF EXTERNAL TURRET MOORING SYSTEM MASELA FLNG WITH CHAIN LINE CONFIGURATION

**Name of Student** : Patria Rahmadhani  
**REG** : 4313100145  
**Departement** : Department of Ocean Engineering, Faculty of  
Marine Technology, ITS  
**Supervisors** : Prof.Ir.Eko Budi Djatmiko M.Sc. Ph.D  
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

*FLNG is a production platforms and efficient storage facilities to distributing exploited natural gas. During its operation, FLNG requires a mooring system to keep it in position, one of which is commonly used is Turret Mooring System. This final project will analyzing the strength of chain connector which is one of the vital parts of Turret Mooring System that located on its mooring line, in the form of H-Link Connector and interconnecting between chain lines. Initial analysis was performed by finding the maximum tension that occurred in configuration of 12 mooring lines and 9 mooring lines by time domain analisis method for 3 hours which will be used as input for stress loading on local strength analysis. Local strength analysis on chain connector will be analysed without using chain and using chain in variety of 1 pair chains and 2 pair chains. The result of analysis are, in the configuration of 12 mooring lines, the maxsimum von-mises stress occur on chain connector model without using chain with the value of 288,56 MPa and 1,349 mm at maximum deformation. Meanwhile in the configuration of 9 mooring lines, the maximum von-mises stress also occur on chain connector model without using chain with the value of 359,22 MPa and 2,97 mm at maximum deformation. All the results of the von-mises stresses in this analysis are under 90% yield strength material or equal to 369 MPa, hence the structure is declared safe and able to be operating in Masela FLNG.*

*Keywords : Turret mooring system, tension, FLNG, chain connector, stress*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik, lancar dan tepat waktu tanpa ada kendala yang berarti. Tidak lupa shalawat salam penulis haturkan kepada junjungan kita semua Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul “Analisis Lokal Kekuatan *Chain Connector* pada *External Turret Mooring System* FLNG Masela dengan Konfigurasi *Chain Line*”. Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Kesarifanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Dalam tugas akhir ini dibahas mengenai komparasi kekuatan pada *chain connector* apabila menerima tension dari *mooring line* yang berjumlah 9 *lines* dan 12 *lines* pada FLNG yang tertambat dengan sistem *external turret mooring*.

Dalam pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini tentu penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, penulis berharap penelitian tugas akhir ini akan bermanfaat dan membawa perkembangan dalam bidang teknologi kelautan serta berguna untuk pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, 2017

Patria Rahmadhani

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu kelancaran dalam penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua saya, Panca Wimbaryanti dan Tri Priyanto, dan adik Panji Yodantara yang tidak henti-hentinya mendoakan dan memberi semangat. Tugas Akhir ini saya persembahkan khusus untuk keluarga saya khususnya kedua orang tua saya.
2. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc.,Ph.D selaku dosen pembimbing I serta dosen wali dan Bapak Ir. Mas Murtedjo, M.Eng selaku dosen pembimbing II saya. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, waktu serta motivasi kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
3. Bapak dan Ibu dosen juga karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan, dukungan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
4. Mas Theo (L-30), Mas Evan (L-30), Mas Aldi (L-30), Pras (L-31), Ochie (L-31), Bonar (L-31), Aksa (L-31), Irza (L-31), Kucing (L-31), Nopian (L-28) dan Yuriandi (L-28) pihak yang secara khusus berjasa telah membantu, memotivasi dan menjadi teman bertukar pikiran ketika saya menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Wahyu Pristiawan Asdela yang selalu ada menjadi *support system*, penyemangat, dan pemberi motivasi dalam segala kesempatan dan berbagai hal kepada penulis.
6. Valtameri (L31-P53) 2013, terutama Febry, Indri, Kalila, Ochie, Robby, dan Laudy teman terdekat saya, terima kasih atas bantuan, dukungan, keceriaan, dan ilmu selama menjalani masa perkuliahan di Teknik Kelautan FTK ITS.
7. Seluruh Alumni dan juga adik angkatan di Teknik Kelautan FTK ITS

Serta seluruh pihak yang telah membantu namun tidak dapat disebutkan satu-persatu. Terima kasih atas segalanya sehingga saya mampu sejauh ini menyelesaikan Tugas Akhir dan menyelesaikan pendidikan saya tanpa kendala yang berarti. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya untuk membalas jasa dan kebaikan yang terucap diatas dan kepada kita semua. Amin.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.1.1 Floating Liquified Natural Gas (FLNG) .....	8
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Sistem Tambat ( <i>Mooring System</i> ).....	9
2.2.2 Beban Lingkungan .....	13
2.2.3 Dasar Teori Olah Gerak Bangunan Apung .....	16
2.2.4 Gerakan 6 Derajat Kebebasan (6DOF) .....	20
2.2.5 Response Amplitude Operators.....	21
2.2.6 Spektrum Gelombang.....	23
2.2.7 Respon Spektra .....	25
2.2.8 Simpangan ( <i>Offset</i> ).....	25
2.2.9 <i>Tension</i> Tali Tambat .....	26
2.2.10 Tegangan Normal.....	28

2.2.11 Tegangan Geser ( <i>Shear Force</i> ) .....	28
2.2.12 Tegangan Lentur ( <i>Bending Stress</i> ).....	29
2.2.13 Tegangan <i>Von Mises</i> .....	30
2.2.14 Finite Element Method.....	32
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1 Skema Diagram Alir .....	35
3.2 Prosedur Penelitian .....	37
3.3 Pengumpulan Data .....	39
3.3.1 Pengumpulan Data Struktur .....	39
3.3.2 Data Lingkungan .....	41
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Pemodelan Struktur FLNG .....	43
4.2 Analisis RAO FLNG Kondisi <i>Free Floating</i> .....	46
4.3 Pemodelan FLNG Kondisi Tertambat .....	51
4.4 Analisis <i>Tension Mooring Lines</i> .....	54
4.4.1 Analisis <i>Tension</i> Konfigurasi 12 <i>Mooring Lines</i> .....	55
4.4.2 Analisis <i>Tension</i> Konfigurasi 9 <i>Mooring Lines</i> .....	56
4.5 Pemodelan Struktur <i>Chain Connector</i> dan <i>Chain</i> .....	58
4.6 Analisis Kekuatan Lokal <i>Chain Connector</i> .....	59
4.6.1 Analisis <i>Meshing</i> dan <i>Sensitivity</i> .....	60
4.6.2 Analisis Tegangan <i>Von-Mises</i> dan Defromasi .....	67
4.6.2.1 Analisis Reaksi <i>Chain Connector</i> tanpa <i>Chain</i> .....	68
4.6.2.2 Analisis Reaksi <i>Chain Connector</i> dengan Variasi <i>Chain</i> .....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran .....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> <i>Floating Liquified Natural Gas (FLNG)</i> .....	1
<b>Gambar 1.2</b> <i>Chain connector</i> pada <i>turret mooring</i> FLNG Masela .....	2
<b>Gambar 2.1</b> Alur produksi FLNG .....	8
<b>Gambar 2.2</b> FLNG supply .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Sistem tambat pada struktur bangunan apung .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Komponen <i>turret mooring system</i> .....	11
<b>Gambar 2.5 (a)</b> <i>Internal turret mooring system</i> .....	12
<b>(b)</b> <i>External turret mooring system</i> .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Tipe <i>mooring line</i> .....	13
<b>Gambar 2.7</b> Mode olah gerak bangunan apung .....	17
<b>Gambar 2.8</b> Grafik respon gerakan bangunan apung .....	22
<b>Gambar 2.9</b> Penjelasan maksimum <i>offset</i> .....	26
<b>Gambar 2.10</b> Tegangan normal pada bidang .....	28
<b>Gambar 2.11</b> Tegangan geser pada suatu bidang .....	29
<b>Gambar 2.12</b> Tegangan lentur ( <i>bending</i> ) pada suatu bidang .....	30
<b>Gambar 2.13</b> Tegangan <i>von mises</i> pada suatu bidang tiga dimensi .....	32
<b>Gambar 2.14</b> Konsep metode elemen hingga .....	33
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir metode penelitian .....	36
<b>Gambar 3.2</b> <i>General Arrangement</i> FLNG Masela .....	39
<b>Gambar 3.3</b> <i>H-Link Chain Connector</i> pada <i>External Mooring System</i> FLNG .....	40
<b>Gambar 3.4 (a)</b> <i>H-Link Chain Connector</i> .....	41
<b>(b)</b> <i>Chain (Common Link)</i> .....	41
<b>Gambar 3.5</b> Lokasi Blok Masela .....	42
<b>Gambar 4.1</b> Model FLNG tampak depan .....	43
<b>Gambar 4.2</b> Model FLNG tampak samping .....	43
<b>Gambar 4.3</b> Model FLNG tampak atas .....	44
<b>Gambar 4.4</b> Model FLNG tampak isometri .....	44
<b>Gambar 4.5</b> Grafik RAO pada saat gerakan <i>surge</i> .....	46
<b>Gambar 4.6</b> Grafik RAO pada saat gerakan <i>sway</i> .....	47
<b>Gambar 4.7</b> Grafik RAO pada saat gerakan <i>heave</i> .....	48

<b>Gambar 4.8</b> Grafik RAO pada saat gerakan <i>roll</i> .....	49
<b>Gambar 4.9</b> Grafik RAO pada saat gerakan <i>pitch</i> .....	50
<b>Gambar 4.10</b> Grafik RAO pada saat gerakan <i>yaw</i> .....	51
<b>Gambar 4.11</b> Input FLNG untuk pemodelan kondisi tertambat .....	52
<b>Gambar 4.12</b> Segmentasi <i>mooring lines</i> dengan tipe <i>catenary</i> .....	52
<b>Gambar 4.13</b> <i>Material properties bottom chain</i> dan <i>top chain</i> .....	53
<b>Gambar 4.14</b> <i>Material Properties wire rope</i> .....	53
<b>Gambar 4.15</b> Contoh grafik <i>time domain analysis</i> .....	54
<b>Gambar 4.16</b> Dimensi <i>chain studless commonlink</i> .....	58
<b>Gambar 4.17</b> Dimensi <i>chain connector</i> (a) tampak depan .....	58
(b) tampak samping.....	58
<b>Gambar 4.18</b> <i>Chain connector</i> dengan variasi satu pasang <i>chains</i> .....	59
<b>Gambar 4.19</b> <i>Chain connector</i> dengan variasi dua pasang <i>chains</i> .....	59
<b>Gambar 4.20</b> Contoh <i>boundary Condition</i> pada <i>chain connector</i> i .....	60
<b>Gambar 4.21</b> Contoh <i>Meshing Sensitivity</i> yang digunakan dalam analisis ...	61
<b>Gambar 4.22</b> Grafik <i>meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring lines, chain connector</i> tanpa <i>chain</i> .....	62
<b>Gambar 4.23</b> Grafik <i>meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring lines</i> dengan variasi 1 pasang <i>chain</i> .....	62
<b>Gambar 4.24</b> Grafik <i>meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring lines</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	63
<b>Gambar 4.25</b> Grafik <i>meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring lines, chain connector</i> tanpa <i>chain</i> .....	64
<b>Gambar 4.26</b> Grafik <i>meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring lines</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	65
<b>Gambar 4.27</b> Grafik <i>meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring lines</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	66
<b>Gambar 4.28</b> <i>Von mises stress</i> struktur <i>chain connector</i> tanpa <i>chain</i> pada pada konfigurasi 12 <i>mooring lines</i> .....	67
<b>Gambar 4.29</b> Deformasi struktur <i>chain connector</i> tanpa <i>chain</i> pada pada konfigurasi 12 <i>mooring lines</i> .....	68

<b>Gambar 4.30</b>	<i>Von mises stress</i> struktur <i>chain connector</i> tanpa <i>chain</i> pada konfigurasi 9 <i>mooring lines</i> .....	69
<b>Gambar 4.31</b>	Deformasi struktur <i>chain connector</i> tanpa <i>chain</i> pada konfigurasi 9 <i>mooring lines</i> .....	69
<b>Gambar 4.32</b>	<i>Global stress</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring lines</i> dengan variasi 1 pasang <i>chain</i> .....	70
<b>Gambar 4.33</b>	<i>Local stress chain connector</i> pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	70
<b>Gambar 4.34</b>	Deformasi global struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	71
<b>Gambar 4.35</b>	<i>Global stress</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	71
<b>Gambar 4.36</b>	<i>Local stress chain connector</i> pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan 2 pasang <i>chains</i> .....	72
<b>Gambar 4.37</b>	Deformasi global struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan 2 pasang <i>chains</i> .....	72
<b>Gambar 4.38</b>	<i>Global stress</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	73
<b>Gambar 4.39</b>	<i>Local stress chain connector</i> pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	73
<b>Gambar 4.40</b>	Deformasi global struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	74
<b>Gambar 4.41</b>	<i>Global Stress</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring lines</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	74
<b>Gambar 4.42</b>	<i>Local stress chain connector</i> pada konfigurasi 9 <i>Mooring Line</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	75
<b>Gambar 4.43</b>	Deformasi global struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	75



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum .....	24
<b>Tabel 2.2</b> Spektrum gelombang di beberapa daerah .....	24
<b>Tabel 3.1</b> <i>Principle Dimension</i> FLNG Masela .....	40
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi segmen pada <i>mooring lines</i> .....	40
<b>Tabel 3.3</b> Ukuran panjang segmen dan <i>anchoring radius</i> .....	41
<b>Tabel 3.4</b> Detail Lokasi Blok Masela .....	41
<b>Tabel 3.5</b> Parameter <i>metocean</i> kondisi lingkungan Masela .....	42
<b>Tabel 4.1</b> ABS MODU(2012) <i>Computation model acceptable tolerances</i> ....	44
<b>Tabel 4.2</b> Validasi model FLNG pada <i>HydroSTAR</i> .....	45
<b>Tabel 4.3</b> RAO max. pada gerakan transional.....	48
<b>Tabel 4.4</b> RAO max. pada gerakan rotational .....	51
<b>Tabel 4.5</b> <i>Mooring lines Properties</i> .....	53
<b>Tabel 4.6</b> Koordinat <i>Ancoring</i> konfigurasi 12 <i>Mooring lines</i> .....	55
<b>Tabel 4.7</b> Nilai <i>tension</i> maksimal pada setiap tali tambat konfigurasi 12 <i>lines</i>	55
<b>Tabel 4.8</b> Koordinat <i>Ancoring</i> konfigurasi 9 <i>Mooring lines</i> .....	57
<b>Tabel 4.9</b> Nilai <i>tension</i> maksimal pada setiap tali tambat konfigurasi 9 <i>lines</i>	57
<b>Tabel 4.10</b> <i>Meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> , <i>chain connector</i> tanpa <i>chain</i> .....	61
<b>Tabel 4.11</b> <i>Meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	62
<b>Tabel 4.12</b> <i>Meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 12 <i>mooring line</i> dengan variasi 2 pasang <i>chains</i> .....	63
<b>Tabel 4.13</b> <i>Meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> , <i>chain connector</i> tanpa <i>chain</i> .....	64

<b>Tabel 4.14</b> <i>Meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> dengan variasi 1 pasang <i>chains</i> .....	65
<b>Tabel 4.15</b> <i>Meshing sensitivity</i> struktur pada konfigurasi 9 <i>mooring line</i> dengan variasi 2 pasang <i>chain</i> .....	66
<b>Tabel 4.14</b> Rangkuman nilai tegangan <i>von-mises</i> dan deformasi pada konfigurasi 12 <i>mooring lines</i> .....	76
<b>Tabel 4.15</b> Rangkuman nilai tegangan <i>von-mises</i> dan deformasi pada konfigurasi 9 <i>mooring lines</i> .....	76

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1.LATAR BELAKANG**

Blok Masela merupakan kawasan kilang minyak dan gas yang terletak di laut Arafura, Maluku yang diprediksikan menjadi sumber cadangan gas bumi abadi dan menjadi salah satu yang terbesar di dunia. Sebesar 10 triliun *cubic feet* ( $242 \times 109\text{m}^3$ ) gas diprediksi terkandung dalam wilayah perbatasan antara Indonesia-Timor Leste dan Australia tersebut. Dengan cadangan gas sebesar itu tentunya diperlukan skenario pengembangan untuk optimasi produksinya. Salah satunya adalah dengan pembangunan FLNG sebagai media produksi dan distribusi gas dalam eksploitasi ladang gas lepas pantai.

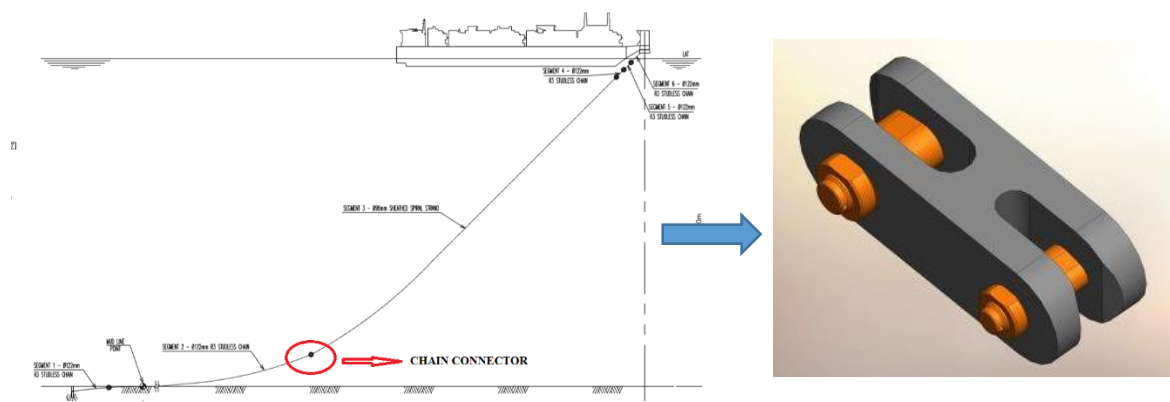
Floating Liquified Natural Gas (FLNG) seperti contohnya yang ditunjukkan pada Gambar 1.1, merupakan sebuah bangunan apung yang dapat menerima gas yang terkandung dalam perut bumi, melakukan processing (pengolahan, pemisahan, dan pencairan), penyimpanan, dan off-loading. Untuk lapangan gas offshore yang relative kecil dan terpencil, pengembangan lapangan dengan menggunakan teknologi FLNG dimana gas akan diproses secara langsung diatas fasilitas terapung tepat dimana lapangan gas tersebut berada, merupakan pilihan yang layak diperhitungkan. Sehingga penggunaan FLNG untuk Blok Masela adalah sebuah pilihan yang tepat.



**Gambar 1.1** *Floating Liquified Natural Gas (FLNG)*  
([www.offshore-technology.com](http://www.offshore-technology.com))

Dalam operasionalnya FLNG membutuhkan suatu sistem tambat untuk menjaga bangunan apung tersebut tetap berada diposisinya. Jenis sistem tambat bangunan berukuran besar seperti FLNG dan FPSO bisa berupa jenis tambat menyebar (*spread mooring system*) dan sistem tambat titik tunggal (*single point mooring system*) (Prastianto, 2006).

Sistem *turret mooring* merupakan sistem tambat dimana jumlah kaki *mooring line* dihubungkan pada *turret*. Sistem *turret mooring* itu sendiri dibagi menjadi dua jenis, yakni *internal* dan *external turret mooring*. Sistem *turret* ini memberikan kemampuan terhadap struktur apung untuk *weathervaning* sehingga didapatkan sebuah posisi yang membuat beban-beban lingkungan seperti arus, gelombang dan angin disekitar *mooring* relatif kecil (API RP 2 SK,1996). *Turret* terdiri dari atas *bearings* yang menyebabkan struktur apung bisa berputar 360 derajat (*weathervaning*) dan *mooring lines* atau yang disebut juga dengan tali tambat. Pada umumnya *mooring lines* memiliki beberapa elemen penyusun yaitu tali kabel (*wire rope*), rantai (*chain*), *swivel* dan juga *chain connector* yang saling terintegrasi dalam sebuah kesatuan. Gambar 1.2 merupakan salah satu jenis *chain connector* yang akan digunakan dalam analisis ini.



**Gambar 1.2** Chain connector pada Turret Mooring FLNG Masela  
(www.directindustry.com)

Gerakan (*motion*) dari bangunan apung menyebabkan adanya gaya yang bekerja seperti *tension force*, *restoring force*, dan *damping* pada sistem tambat (*mooring system*) (Kusumawardhani, 2011). Maka hal itulah yang menjadi latar

belakang dilakukannya analisis kekuatan pada *Chain connector*. *Chain connector* sendiri adalah bagian vital dalam *mooring line* yang berfungsi sebagai penghubung antar *chain line* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis kekuatan (*stress*) yang terjadi pada *Chain connector* apabila menerima beban *tension* maksimal dari salah satu tali tambatnya akibat gerakan FLNG yang dipengaruhi oleh beban lingkungan serta pengaruh dari perilaku gerakan enam derajat kebebasan (6DOF). Jumlah *mooring lines* yang berbeda apabila diterapkan untuk menahan suatu bangunan apung akan memberikan efek yang berbeda terhadap pergerakan bangunan apung tersebut (Sabziyan, Ghassemi, dan Kazemi, 2014)

Dari faktor-faktor yang telah dijelaskan sebelumnya, maka pada analisis ini akan coba dilakukan analisis kekuatan *chain connector* dengan perbedaan konfigurasi jumlah *mooring lines* yaitu, *mooring lines* berjumlah 12 *lines* dan 9 *lines*. Sehingga pada akhirnya setelah didapatkan *tension* maksimal pada masing-masing konfigurasi *mooring line* akibat gerakan FLNG, dapat dianalisis lokal apakah struktur *chain connector* masih aman untuk digunakan atau tidak. Karena apabila sebuah *chain connector* tidak sanggup untuk menahan beban *tension*, maka akan terjadi kegagalan struktur yang menyebabkan *mooring line* putus dan berakibat fatal.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian tugas akhir ini diantaranya adalah :

1. Berapa besar *tension* yang terjadi di setiap *Mooring Line* pada konfigurasi 12 *Lines* dan 9 *Lines*?
2. Bagaimana distribusi tegangan dan tegangan lokal maksimum pada *Chain connector* beserta deformasinya?

## 1.3 TUJUAN

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui besarnya *tension* yang terjadi di setiap *Mooring Line* pada konfigurasi 12 *Lines* dan 9 *Lines*.
2. Untuk mengetahui distribusi tegangan dan tegangan lokal maksimum pada *Chain connector* beserta deformasinya.

## 1.4 MANFAAT

Diharapkan dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana perilaku gerak FLNG ada saat *free floating* dan mengetahui perbandingan *tension* yang terjadi pada setiap *lines* akibat perbedaan konfigurasi *chain* yang berbeda sehingga diketahui komparasi kekuatan pada *chain connector* dengan konfigurasi 12 *lines* dan 9 *lines* pada external *turret mooring*.

Pada akhirnya analisis tugas akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi pada penelitian-penelitian selanjutnya dan juga menjadi media pembelajaran bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

## 1.5 BATASAN MASALAH

1. FLNG dianggap *rigid body*, dengan tidak memperhitungkan kekuatan struktur FLNG.
2. Data lingkungan yang digunakan merupakan data lingkungan Masela *field*.
3. Beban lingkungan yang diperhitungkan adalah beban angin, beban gelombang dan beban arus.
4. Analisis perilaku gerak *mooring lines* dalam 6 derajat kebebasan (6DOF).
5. Tidak memperhitungkan *turret instrumentation system*, *turret utility system* (seperti: sistem hidrolis, sistem lubrikasi otomatis), dan *turret electrical system* dalam tugas akhir ini.
6. *Mooring lines* dengan konfigurasi 12 *lines* yang terbagi dalam tiga *grouping lines*, sudut antara tiap *group lines* adalah  $120^\circ$ . Satu *group* terdiri dari 4 *lines* sudut antar *lines* dalam satu *group lines* adalah  $10^\circ$ .
7. *Mooring lines* dengan konfigurasi 9 *lines* yang terbagi dalam tiga *grouping lines*, sudut antara tiap *group lines* adalah  $120^\circ$ . Satu *group* terdiri dari 3 *lines* sudut antar *lines* dalam satu *group lines* adalah  $10^\circ$ .
8. Tidak dilakukan perhitungan analisis riser dan hawser system.
9. Pengaruh arah gelombang yang digunakan adalah  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $180^\circ$ .
10. Tidak dilakukan analisis *motion* FLNG pada kondisi tertambat.
11. Jumlah *chain* yang ikut dimodelkan hanya berjumlah 1 pasang dan 2 pasang.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang dipakai dalam penyusunan Tugas Akhir ini dijelaskan sebagai berikut :

1. Bab I : Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang tentang dasar mengapa penelitian tersebut dilakukan, perumusan masalah yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang dapat diperoleh, serta batasan masalah yang akan membatasi ruang lingkup penelitian tugas akhir.

2. Bab II : Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini merupakan tinjauan pustaka serta dasar teori yang digunakan sebagai acuan atau pedoman yang mendukung penyelesaian tugas akhir. Referensi tersebut dapat berupa jurnal lokal maupun internasional, *rules* atau *code* dan juga dapat berupa buku yang memiliki kaitan terhadap bahasan tugas akhir.

3. Bab III : Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang metodologi penelitian yang berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir yang disajikan dalam diagram alir atau *flow chart* agar dapat dipahami lebih mudah dan tersusun dengan sistematis.

4. Bab IV : Analisis dan Pembahasan

Bab ini membahas data berdasarkan dasar teori yang ada yang dikerjakan sesuai alur pada diagram alir, sehingga didapatkan hasil olahan data yang menjadi inti bahasan untuk dianalisis berupa *output* dari penelitian tugas akhir.

5. Bab V : Penutup

Bab ini merupakan kesimpulan dari *output* yang telah didapatkan dan dianalisis, selain itu juga terdapat saran yang berisikan masukan untuk menyempurnakan hasil dari Tugas Akhir untuk penelitian kedepannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 TINJAUAN PUSTAKA**

FLNG merupakan salah satu jenis bangunan apung yang dalam masa operasionalnya membutuhkan sistem tambat untuk tetap berada pada posisinya agar proses produksi tidak terganggu. Menurut Djatmiko (2003), anjungan terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan terapung dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai. Untuk anjungan jenis ini, yang diutamakan adalah mobilitas dan kemampuannya dalam mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut. Hal tersebut didukung oleh penelitian Hang Shoon dan Choi (2013) mengatakan bahwa, *turret* merupakan salah satu jenis sistem tambat yang banyak digunakan untuk struktur besar seperti FPSO dan FLNG.

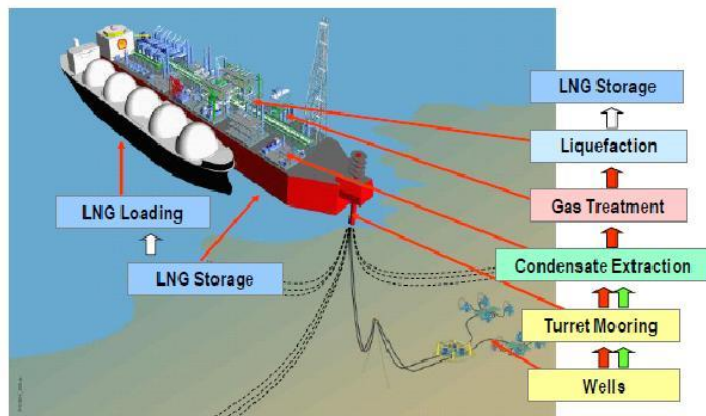
Semakin dengan berjalannya waktu, telah banyak studi dan juga penelitian dilakukan untuk menganalisa kinerja dari *turret mooring system*. Seperti contohnya menganalisis perilaku FLNG dengan variasi metocean terhadap *external turret mooring system* yang dilakukan oleh Mahdarezza (2010) dan juga analisa *turret mooring system* yang dilakukan oleh Bungawardani (2007). Daffa (2016) juga melakukan studi komparasi perilaku gerak FLNG terhadap *Internal Turret dan External Turret Mooring System*.

Performa *Mooring System* juga perlu diteliti untuk dianalisis kekuatannya agar dapat berfungsi dengan baik. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Rizkiarsa (2016) yang melakukan analisis lokal pada *swivel* yang merupakan salah satu bagian penting dari *mooring system*. Hal serupa juga dilakukan oleh Setyawan (2012) yang melakukan analisis pada *chain line mooring system* akibat konversi motor tanker menjadi *mooring storage tanker*. Penelitian mengenai efek dari perbedaan jumlah *mooring lines* yang berjumlah 4 *lines* dan 8 *lines*, terhadap pergerakan *semi-submersible platform* pada mode gerak *surge* dan *sway* juga pernah dikaji oleh Sabziyan, Ghassemi, dan Kazemi (2014).

Berdasar pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya maka dari itu pada Tugas Akhir ini akan coba dilakukan analisis dan komparasi kekuatan *chain connector* yang juga merupakan bagian penting dari *Turret Mooring System* dengan konfigurasi jumlah *mooring lines* 12 dan juga 9 buah.

### 2.1.1 Floating Liquified Natural Gas (FLNG)

FLNG merupakan fasilitas eksploitasi dan produksi gas lepas pantai sebagai alternatif penggunaan jaringan pipa jarak jauh yang biasanya menyalurkan gas dari sumur ke tempat produksinya di darat. FLNG pada dasarnya sama seperti Floating Production Storage and Offloading (FPSO) yaitu kapal lambung tunggal atau *monohull* yang difungsikan sebagai tempat untuk mengakomodasi fasilitas di atas geladak guna memproses produk natural gas dan sekaligus menyimpannya di dalam tangki-tangki pada lambungnya sebelum produk tersebut ditransfer ke kapal-kapal LNG Carrier untuk didistribusikan ke pasaran. FLNG diperkenalkan untuk menggantikan sistem kombinasi anjungan produksi dengan fasilitas penyimpanan terapung (Mahdarezza, 2010). Penggabungan dari kedua fungsi tersebut tentu akan memberikan efisiensi teknis dan ekonomis dari beberapa aspek, baik pada tahap pembangunan maupun operasinya. Gambar 2.1 merupakan gambaran mengenai alur produksi FLNG sementara Gambar 2.2 merupakan gambaran alur *supply* FLNG.



**Gambar 2.1** Alur produksi FLNG (www.2b1stconsulting.com)



**Gambar 2.2** FLNG *supply chain* (Technip, 2010)

Gerakan (*offset*) pada FLNG dibatasi dengan adanya *mooring system* dan riser yang terpancang padanya. *Offset* pada FLNG dibatasi oleh *mooring system* dan riser, sedangkan *offset* tali tambat tergantung pada karakteristik perilaku FLNG yang dapat berubah-ubah karena disebabkan oleh gaya pengembali (*restoring force*) dan gaya redaman (*drag force*) dari *mooring system* dan riser (Daffa, 2016). Pengaruh *motion* dan *offset* FLNG akan sangat berpengaruh pada *tension mooring lines* juga operabilitas dari FLNG sendiri.

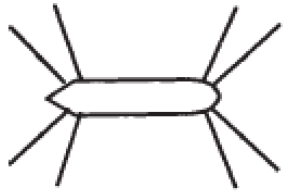

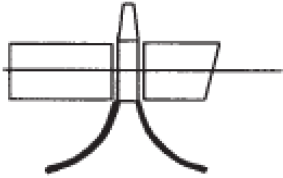
## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Sistem Tambat (*Mooring System*)

Sistem tambat atau *mooring system* merupakan suatu alat agar sebuah struktur bangunan apung dapat tetap pada posisinya saat beroperasi di lepas pantai. Gaya luar yang bekerja pada struktural yang tertambat disebabkan oleh aksi dari gelombang, angin dan arus yang menimbulkan gerakan dan mengganggu kondisi setimbang dari struktur tersebut. Tujuan dari sistem tambat pada dasarnya adalah untuk mengurangi gerakan struktur pada bidang horisontal dan menjaganya untuk relatif tetap pada posisi yang dibutuhkan tanpa menimbulkan gaya *restraining* yang tinggi (Afriyansyah dan Aryawan, 2013).

Secara umum terdapat beberapa *mooring system* yang biasa digunakan untuk FPSO maupun FLNG, namun yang paling umum digunakan adalah *Spread Mooring* dan *Turret Mooring System*. Berbeda dengan sistem *spread mooring* yang posisi

*mooring lines*nya biasa terletak pada posisi bow dan stern kapal, pada *turret mooring* sistem *mooring lines* terintegrasi pada badan *turret*. Gambar 2.3 menjelaskan tentang perbedaan antara *spread* dan *turret mooring system*.

Spread Mooring	Turret	
	External Turret System	Internal Turret System
		

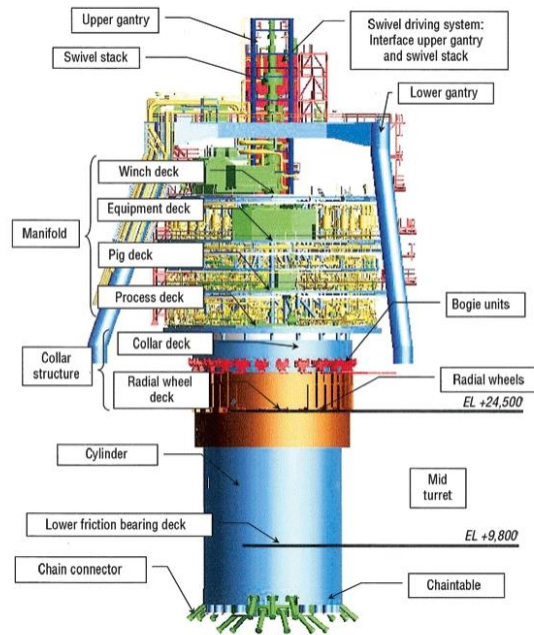
**Gambar 2.3** Sistem tambat pada struktur bangunan apung (Perwitasari, 2010)

England, Duggal, dan Queen (2001) dalam jurnalnya menerangkan bahwa, *turret* dan *spread mooring system* memiliki perbedaan dalam karakteristik performa, baik dalam hal *motion* kapal maupun *offloading*. *Turret mooring system* yang merupakan bagian dari *single point mooring system* memungkinkan kapal akan bergerak (berputar) sesuai arah kondisi lingkungannya, sehingga sistem *offloading* dilakukan dengan menggunakan alat yang disambungkan pada bagian *stern* kapal dan beban lingkungan yang terjadi tidak terlalu mempengaruhi sistem *offloading*. Sementara sistem *offloading* yang umum digunakan pada kapal dengan *spread mooring system* adalah sistem tandem, namun kekurangannya adalah apabila kondisi lingkungannya berubah secara tiba-tiba maka akan menyulitkan proses ini.

Pada umumnya penggunaan *spread mooring system* lebih diutamakan untuk perairan yang relatif tenang, sedangkan untuk *turret* dapat digunakan untuk perairan yang lebih besar beban lingkungannya. Keunggulan penggunaan *turret mooring system* apabila ditempatkan di daerah yang tidak begitu tenang perairannya, dapat lebih mudah untuk menstabilkan badan kapal untuk dapat kembali pada posisi normal. Karena sifat dari *turret mooring system* yang dapat ber-*wheateervanning* atau bergerak berputar mengikuti arah datangnya gelombang, sehingga beban lingkungan disekitarnya menjadi lebih kecil dan memungkinkan badan kapal untuk tetap pada

kondisi stabil. Yang dikatakan kondisi stabil adalah apabila kapal tidak mengalami gerakan 6 derajat kebebasan (*roll, heave, pitch, yaw, surge, sway*) yang berlebihan. Untuk perairan Indonesia yang tertutup, kedua metode ini dapat digunakan secara efektif dengan tetap mempertimbangkan beberapa hal lainnya dalam pemilihannya, seperti biaya, jumlah *riser* yang digunakan, dan sebagainya.

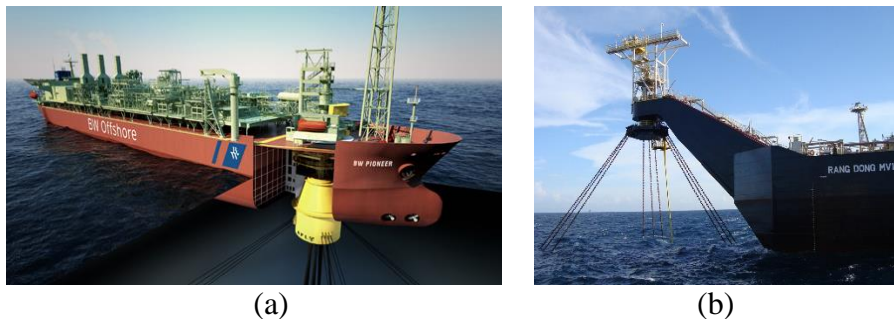
*Turret mooring system* memiliki komponen yang lebih kompleks dibandingkan dengan *spread mooring system*. Hal ini dikarenakan karena pada badan *turret* terdapat bagian-bagian tempat produksi pada saat setelah *resources* diambil dan disalurkan melalui *riser* yang juga menjadi salah satu komponennya. Pada Gambar 2.4 dijelaskan mengenai bagian-bagian yang terdapat pada *turret mooring system*.



**Gambar 2.4** Komponen *turret mooring system* (www.offshore-mag.com)

Keunggulan dari sistem tambat *turret* adalah memiliki *bearing* dimana dengan adanya hal tersebut dapat memungkinkan FLNG memiliki kemampuan untuk *weathervaning* atau berputar 360 derajat sehingga didapatkan posisi dimana beban-beban lingkungan seperti arus, gelombang dan angin yang bekerja di sekitar mooring menjadi kecil (*API RP 2 SK, 1996*).

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5, *turret mooring* terbagi atas 2 jenis yaitu *Internal Turret* dan *External Turret* masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing. *Internal Turret* dapat dipasang secara permanen maupun tidak permanen atau *dis-connectable* namun sistem ini belum familiar diterapkan di Indonesia. Sedangkan *External Turret* dapat diletakkan pada posisi *bow* atau *stern* kapal yang terletak di luar lambung kapal sehingga tidak mengganggu FLNG untuk ber-*weathervaning*. Dari segi berat, *Internal Turret Mooring* dapat dikatakan lebih berat dari *External Turret*, namun dapat lebih banyak menampung jumlah *riser*. Keduanya memiliki panjang *mooring lines* tertentu dengan *chain leg* yang disambungkan dengan *anchor* atau *pile* lalu “ditanam” di dasar laut sedangkan ujung satunya lagi dikaitkan dengan *chaintable* yang melekat pada badan *turret*.

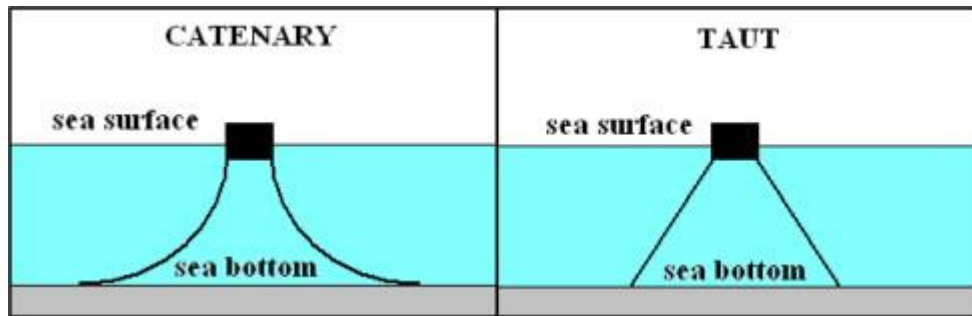


**Gambar 2.5** (a) *Internal Turret Mooring System* ([www.2b1stconsulting.com](http://www.2b1stconsulting.com))  
(b) *External Turret Mooring System* ([www.sci-chain.com](http://www.sci-chain.com))

*Mooring lines* pada *turret* juga memiliki beberapa jenis diantaranya tipe taut dan tipe *catenary* seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.6. Jenis taut biasanya digunakan untuk perairan dalam sedangkan untuk *catenary* biasanya digunakan untuk perairan menengah karena sifat dari *catenary* yang melengkung dan membentuk sudut akan lebih berat membebani sistem *mooring lines*.

Jumlah *mooring lines* pada *turret* bervariasi dan disesuaikan dengan kebutuhan, rata-rata jumlahnya antara 4-24 *lines*. Dalam suatu kesatuan *mooring lines* biasanya terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *chain*, *wire rope*, *swivel*, dan *chain connector/shackle* yang masing-masingnya memiliki peran penting. Untuk *offshore mooring* biasanya menggunakan komponen *chain-wire rope-chain* karena

dinilai memiliki kekuatan dan nilai ekonomis yang tinggi, dan sebagai penghubung diantaranya menggunakan *swivel* atau *chain connector*.



**Gambar 2.6** Tipe *mooring lines* (www.sciencedirect.com)

Perhitungan jarak minimum rantai jangkar dapat dicari dengan persamaan (*Faltinsen 1990*) :

$$x = l - h \left( 1 + 2 \frac{a}{h} \right)^{\frac{1}{2}} + a \cosh^{-1} \left( 1 + \frac{h}{a} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- $x$  = Jarak minimum rantai jangkar (m)
- $l$  = Panjang keseluruhan rantai jangkar (m)
- $h$  = Jarak titik tumpu ke *seabed* (m)
- $a$  =  $MBL / W$
- $W$  = Berat rantai jangkar (kg)

Perhitungan jarak minimum rantai jangkar tersebut dilakukan agar rantai jangkar tidak terlalu menegang sehingga tension yang dihasilkan tidak terlalu besar. Apabila dari data tidak diketahui ukuran panjang rantai maka perlu dilakukan perhitungan tersebut agar didapatkan panjang rantai yang efisien.

### 2.2.2 Beban Lingkungan

Beban lingkungan (*Environmental Load*) merupakan beban yang membebani sebuah struktur bangunan apung akibat fenomena alam pada saat beroperasi di lepas pantai. Beberapa beban lingkungan yang mempengaruhi pada sebuah perancangan bangunan apung diantaranya adalah :

### 2.2.2.1 Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, namun beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Beban angin yang bekerja pada sebuah struktur bangunan apung adalah beban logitudinal, lateral dan momen yaw angin. Perhitungan beban angin diisyaratkan untuk didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrim dengan pengulangan 50 atau 100 tahun. Dalam sebuah perancangan, perhitungan beban angin dapat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines – 1997*:

*Longitudinal wind force*

$$F_{xw} = C_{xw} \left( \frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \dots\dots\dots(2.2)$$

*Lateral wind force*

$$F_{yw} = C_{yw} \left( \frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- $F_{xw}$  = gaya angin longitudinal (kN)
- $F_{yw}$  = gaya angin lateral (kN)
- $C_{xw}$  = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional
- $C_{yw}$  = koefisien gaya angin transversal non dimensional
- $\rho_w$  = densiti udara = 1.223 Kg/m<sup>3</sup> pada 20<sup>0</sup> C
- $V_w$  = kecepatan angin pada ketinggian 10m (knot)
- $A_T$  = luas penampang transversal diatas air (m<sup>2</sup>)
- $A_L$  = luas penampang longitudinal diatas air (m<sup>2</sup>)

### 2.2.2.2 Beban Gelombang

Ada beberapa teori yang dipakai untuk perhitungan gaya gelombang, salah satunya adalah teori difraksi. Teori difraksi dipakai apabila suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang di sekitarnya (Indiyono, 2003).



Maka dari itu, teori perhitungan gaya gelombang yang tepat untuk analisis *mooring* pada FLNG adalah teori difraksi. Dalam hal ini difraksi gelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang. Persamaan Navier-Stokes merupakan persamaan yang sering digunakan pada permasalahan difraksi dan teori gelombang yang digunakan adalah teori gelombang linier (Airy). Gaya gelombang difraksi mempunyai efek yang signifikan terhadap *floating structure* di perairan laut dalam.

Untuk gaya gelombang *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *first order* dan *second order*. *First order* adalah gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitannya di daerah itu sendiri dan berpengaruh dominan pada gerakan bangunan apung. Berikut adalah gaya gelombang first order pada persamaan 2.4 seperti berikut :

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] \alpha_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Second order adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitannya tidak di daerah itu (jauh dari lokasi gelombang terjadi) dan berpengaruh dominan pada kekuatan *mooring system*. Sedangkan gaya gelombang second order menggunakan persamaan 2.5 berikut :

$$F_{wv}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j D_{ij} \cos [(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

- $F_{wv}^{(1)}(t)$  = Gaya gelombang first order tergantung waktu (N)
- $F_{wv}^{(1)}(w)$  = Gaya exciting gelombang first order per unit amplitudo gelombang (N)
- $\varepsilon_i$  = Sudut fase komponen gelombang first order (deg)
- $\alpha_i$  = Amplitudo komponen gelombang first order (m)
- $D_{ij}$  = Drift force per unit amplitudo gelombang (N/m)

### 2.2.2.3 Beban Arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap *offshore structure*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines* – 1997 dituliskan:

*Longitudinal current force*

$$F_{xc} = C_{xc} \left( \frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots \dots \dots (2.6)$$

*Lateral current force*

$$F_{yc} = C_{yc} \left( \frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- $F_{xc}$  = gaya arus longitudinal (kN)
- $F_{yc}$  = gaya arus lateral (kN)
- $C_{xc}$  = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional
- $C_{yc}$  = koefisien gaya arus transfersal non dimensional
- $\rho_c$  = densiti air laut = 1025 Kg/m<sup>3</sup> pada 20<sup>0</sup> C
- $V_c$  = kecepatan arus pada ketinggian 10m (knot)
- $T$  = Draft kapal (m)
- $L_{BP}$  = *length between perpendicular* (m)

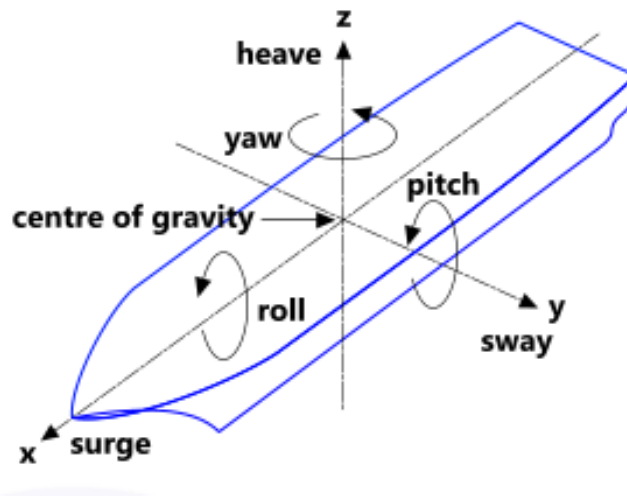
### 2.2.3 Dasar Teori Olah Gerak Bangunan Apung

Sebuah bangunan apung akan mengalami 6 mode gerakan bebas pada saat beroperasi di lepas pantai. 6 mode gerakan tersebut terbagi atas gerakan rotasional dan juga transional. Berikut pembagian mode gerakan tersebut menurut Bhattacharyya (1978) :

1. Gerakan rotasional merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung yang terjadi pada sumbu x,y, dan z sehingga menyebabkan perubahan sudut. Gerakan tersebut meliputi :
  - a. Roll, gerakan rotasional pada bangunan apung searah dengan sumbu x
  - b. Pitch, gerakan rotasional pada bangunan apung searah dengan sumbu y

- c. Yaw, gerakan rotasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $z$
- 2. Gerakan transional merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung yang terjadi pada sumbu  $x, y$ , dan  $z$  tanpa menyebabkan perubahan sudut. Gerakan tersebut meliputi :
  - a. Surge, gerakan translasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $x$
  - b. Sway, gerakan translasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $y$
  - c. Heave, gerakan translasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $z$

Gerakan rotasional dan gerakan transional tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.7 berikut :



**Gambar 2.7** 6 Mode olah gerak bangunan apung (Soetomo, 2010)

#### 2.2.4.1 Gerakan *Surge* Murni

*Surge* merupakan gerakan translasional dari kapal dengan pusat gerakannya searah dengan sumbu  $x$ . Persamaanya seperti berikut :

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F_0 \cos \omega e t \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- $a\ddot{x}$  = *Surge inertial force* (N)
- $b\dot{x}$  = *Surge damping force* (N)
- $cx$  = *Restoring force* (N)
- $F_0 \cos \omega e t$  = *Exciting force* (N)

#### 2.2.4.2 Gerakan Sway Murni

*Sway* merupakan gerakan translasional dari kapal dengan pusat gerakannya searah dengan sumbu y. Persamaanya seperti berikut :

$$ay'' + by' + cy = F_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

$$ay'' = \text{Inertial force (N)}$$

$$by' = \text{Damping force (N)}$$

$$cy = \text{Restoring force (N)}$$

$$F_o \cos \omega_e t = \text{Exciting force (N)}$$

#### 2.2.4.3 Gerakan Heave Murni

*Heave* merupakan gerakan translasional dari kapal dengan pusat gerakannya searah dengan sumbu x serta terdapat gaya kebawah akibat dari berat kapal sehingga membuat kapal tercelup air dan kembali ke awal hingga diperoleh posisi kesetimbangan kapal. Persamaan umum pada kapal kondisi *heaving* seperti berikut :

$$az'' + bz' + cz = F_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

$$az'' = \text{Inertial force (N)}$$

$$bz' = \text{Damping force (N)}$$

$$cz = \text{Restoring force (N)}$$

$$F_o \cos \omega_e t = \text{Exciting force (N)}$$

#### 2.2.4.4 Gerakan Roll Murni

Gerakan *rolling* merupakan gerakan rotasional kapal dengan pusat gerakannya yaitu sumbu x. Gerakan *rolling* akan berpengaruh terhadap *initial velocity* sehingga perlu dilakukan perhitungan terhadap momen gaya. Persamaan persamannya sebagai berikut :

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

$$a\ddot{\phi} = \text{Inertial moment (kg.m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned}
b\dot{\theta} &= \text{Damping moment (kg.m}^2\text{)} \\
c\theta &= \text{Restoring moment (kg.m}^2\text{)} \\
M_0 &= \text{Amplitudo momen eksitasi (m)} \\
\omega_e &= \text{Frekuensi gelombang } encountering \text{ (hz)} \\
M_0 \cos \omega_e t &= \text{Exciting moment (kg.m}^2\text{)}
\end{aligned}$$

#### 2.2.4.5 Gerakan *Pitch* Murni

Gerakan pitching merupakan gerakan rotasional kapal dengan pusat gerakannya yaitu sumbu y. Karena gerak pitching mempengaruhi posisi kesetimbangan pada kapal, maka momen yang terjadi akibat pitching perlu diperhitungkan. Persamaannya sebagai berikut :

$$a\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta = M_0 \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
a\ddot{\theta} &= \text{Inertial moment (kg.m}^2\text{)} \\
b\dot{\theta} &= \text{Damping moment (kg.m}^2\text{)} \\
c\theta &= \text{Restoring moment (kg.m}^2\text{)} \\
M_0 &= \text{Amplitudo momen eksitasi (m)} \\
\omega_e &= \text{Frekuensi gelombang } encountering \text{ (hz)} \\
M_0 \cos \omega_e t &= \text{Exciting moment (kg.m}^2\text{)}
\end{aligned}$$

#### 2.2.4.6 Gerakan *Yaw* Murni

Gerakan yaw merupakan gerakan rotasional kapal dengan pusat gerakNya yaitu sumbu z. Gerakan yaw juga mempengaruhi posisi kesetimbangan kapal, sehingga perlu memperhitungkan momen gaya. Persamaan rumusnya sebagai berikut :

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_0 \cos \omega_e t \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}
a\ddot{\phi} &= \text{Inertial moment (kg.m}^2\text{)} \\
b\dot{\phi} &= \text{Damping moment (kg.m}^2\text{)} \\
c\phi &= \text{Restoring moment (kg.m}^2\text{)} \\
M_0 &= \text{Amplitudo momen eksitasi (m)} \\
\omega_e &= \text{Frekuensi gelombang } encountering \text{ (hz)}
\end{aligned}$$

$$M_o \cos \omega e t = \text{Exciting moment (kg.m}^2\text{)}$$

#### 2.2.4 Gerakan 6 Derajat Kebebasan (6 Degree of Freedom)

Bangunan apung yang mengalami 6 mode gerak osilasi, akan diasumsikan bahwa gerakan tersebut adalah harmonik dan linier. Maka persamaan diferensial gerakan kopel pada sebuah bangunan apung dapat dipersamakan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

$\mathbf{M}_{jk}$  = Komponen matriks massa dan momen inersia bangunan apung

$\mathbf{A}_{jk}$  = Matriks koefisien massa tambah dan redaman hidrodinamika

$\mathbf{B}_{jk}$  = Matriks koefisien redaman hidrodinamika

$\mathbf{C}_{jk}$  = Matriks koefisien gaya hidrostatik

$\mathbf{F}_j$  = Matriks gaya eksitasi dan momen eksitasi dalam besaran kompleks

$j \ \& \ k$  = 1, 2, 3, 4, 5 & 6 untuk gerakan *surge, sway, heave, roll, pitch*, dan *yaw*

Gaya aksi reaksi dapat ditimbulkan dari persamaan differensial gerakan kopel pada bangunan apung pada persamaan 2.14 diatas. Gaya aksi terdapat pada persamaan ruas kanan yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Sedangkan gaya reaksi terdapat pada persamaan ruas kiri yang terdiri atas gaya inersia, gaya redaman, dan gaya pengembali yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak, kecepatan gerak dan simpangan atau displacement gerakan (Djarmiko, 2012).

Dalam penyelesaian persamaan gerak, selanjutnya harus menentukan nilai dari koefisien masa tambah, redaman dan juga hidrostatik yang diperlukan. Maka dari persamaan gerak itulah akan didapatkan informasi tentang karakteristik gerakan bangunan apung yang diteliti.

### 2.2.5 Response Amplitude Operators (RAO)

Fungsi respon gerakan dinamis suatu struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan suatu rentang frekuensi tertentu disebut dengan *Response Amplitude Operator* (RAO) atau dapat disebut juga *Transfer Function*. Dengan kata lain RAO merupakan alat atau media untuk mengubah gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis pada struktur bangunan apung.

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djarmiko, 2012). Berikut ini adalah bentuk umum dari persamaan RAO untuk gerakan translasi (*surge, sway, heave*) menurut Chakrabarti (1987):

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \text{ (m/m)} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan :

$X_p(\omega)$  = amplitudo gerakan suatu struktur bangunan apung (m)

$\eta(\omega)$  = amplitudo gelombang (m)

Sedangkan respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi (*roll, pitch, yaw*) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara gelombang ( $k_w = \omega^2/g$ ) dengan amplitudo gelombang insiden (Djarmiko, 2012). Berikut ini adalah persamaannya :

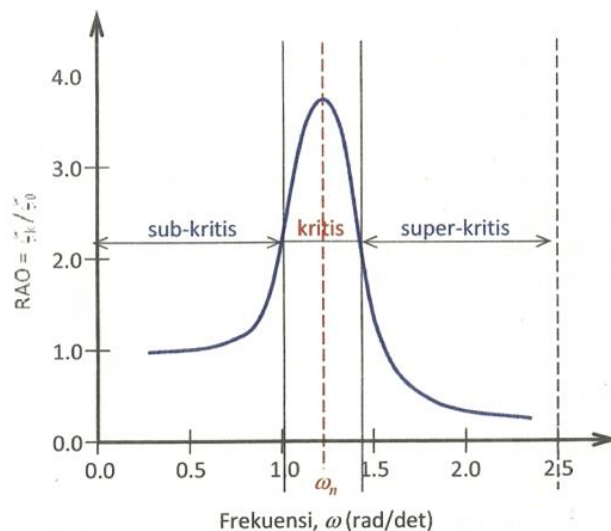
$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}(\omega)}{\zeta_0(\omega)} = \frac{\zeta_{k0}}{(\frac{\omega^2}{g})\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Kurva respon gerakan sebuah bangunan apung yang dapat dilihat pada Gambar 2.8, pada umumnya terbagi menjadi tiga bagian, bagian tersebut adalah :

1. Bagian pertama merupakan bagian sub-kritis dengan gelombang (periode) panjang atau frekuensinya rendah. Bangunan apung akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan

kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring* *Ipada* bagian ini. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2 < k/(m+a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.

2. Bagian kedua adalah daerah kritis, merupakan pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
3. Bagian ketiga merupakan daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).



**Gambar 2.8** Grafik respon gerakan bangunan apung (Djarmiko, 2012)



## 2.2.6 Spektrum Gelombang

Teori gelombang reguler dapat diaplikasikan pada saat desain metode *single wave* di gunakan. Ini tergantung dari metode yang digunakan pada saat proses pendesainan. Pada gelombang acak, ini di deskripsikan dengan densitas spectrum energi. Spektrum energi gelombang mendeskripsikan energi yang terkandung dari gelombang dan itu didistribusikan keseluruhan jangkauan frekuensi pada gelombang acak. Oleh karena itu. Metode gelombang acak mungkin berguna khususnya pada tahap perencanaan bangunan terapung. (Chakrabakti. 1972) Pemilihan spectrum energi gelombang didasarkan pada kondisi *real* laut yang ditinjau.

Beberapa teori gelombang yang dapat digunakan untuk analisa spectrum gelombang, diantaranya adalah JONSWAP, Pierson-Moskowitz, ISSC dan ITTC. Pemilihan dari spectrum gelombang tergantung dari kondisi laut yang dipakai dalam penelitian. Perancangan harus mengetahui dari mana dan dengan asumsi kondisi perairan yang cocok dengan penelitian. Dan untuk tugas akhir kali ini memakai persamaan JONSWAP yang merupakan modifikasi dari persamaan Pierson Moskowitz karena objek penelitian adalah perairan tertutup dan persamaan JONSWAP cocok untuk digunakan. Berikut ini merupakan persamaan JONSWAP :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \text{EXP} \left[ -1,25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \text{EXP} \left[ \frac{-\omega - \omega_0^2}{2\tau^2 \tau - \omega_0^2} \right] \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan :

$\omega_p$  = frekuensi puncak spectra

$\gamma$  = parameter puncak

$\tau$  = parameter bentuk

Untuk  $\omega < \omega_0 = 0,07$ , untuk  $\omega > \omega_0 = 0,09$ , untuk  $\alpha = 0,076 (x_0) - 0,22$ , apabila  $x_0$  tidak diketahui maka  $\alpha = 0,0081$ ,

dimana,

$$\omega_0 = 2\pi \frac{g}{U_w} (X_0)^{0,33} X_0 = \frac{gX}{U_w} \dots \dots \dots (2.18)$$

Sedangkan parameter puncak ( $\gamma$ ) dapat di tentuka dengan menggunakan persamaan 2.19 berikut :

$$(\gamma) = \text{EXP} \left[ 3,4843 \cdot 9 \left( 1 - 0,1975 \left( 0,036 - 0,0056 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \frac{T_p^4}{\sqrt{H_s^2}} \right) \right] \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

$T_p$  = periode puncak spectra

$H_s$  = tinggi gelombang signifikan

Parameter-parameter gelombang didapat dari spectrum gelombang dan menghasilkan hasil seperti pada Tabel 2.1 :

**Tabel 2.1** Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	1,25 ( $m_0^{1/2}$ )	2,5 ( $m_0^{1/2}$ )
Gelombang Signifikan	2,00 ( $m_0^{1/2}$ )	4,00 ( $m_0^{1/2}$ )
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	2,55 ( $m_0^{1/2}$ )	5,00 ( $m_0^{1/2}$ )
Rata-rata 1/100 Gelombang Tertinggi	3,44 ( $m_0^{1/2}$ )	6,67 ( $m_0^{1/2}$ )

Keterangan :

$m_0$  = luasan dibawah kurva spectrum (zero moment)

$$m_0 = \int S(\omega) d\omega \propto 0 \dots\dots\dots (2.20)$$

Formulasi spektra JONSWAP banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Hal yang mendasari pemakaian spektra JONSWAP dikarenakan karena perairan Indonesia di mana kebanyakan bangunan lepas pantai untuk kegiatan migas dioperasikan adalah perairan kepulauan atau tertutup. Tabel 2.2 menjelaskan tentang beberapa referensi *spectra* gelombang yang dipakai di berbagai daerah.

**Tabel 2.2** Spektrum gelombang di beberapa daerah (Chakrabakti, 1987)

Lokasi	Operational	Survival
Gulf of Mexico	P-M	JONSWAP
North Sea	JONSWAP	JONSWAP
Northern North Sea	JONSWAP	JONSWAP
Offshore Brazil	P-M	P-M
Western Australia	P-M	P-M
Offshore Newfoundland	P-M	P-M
West Africa	P-M	P-M

Namun dari sejumlah kajian, untuk perairan Indonesia disarankan memakai parameter  $\gamma$  berkisar dari 2.0 hingga 2.5. Hal ini pada intinya adalah untuk mengurangi dominasi energi yang dikontribusikan oleh frekuensi gelombang tertentu saja (Djarmiko, 2012).

### 2.2.7 Respon Spektra

Pada sistem *linear*, respon spektra merupakan perkalian antara spectrum gelombang dengan RAO kuadrat. Persamaan dari respon spectra (Chakrabarty 1987) adalah sebagai berikut :

$$S_r(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

- $S_r$  = response spectrum,  $\text{ft}^2 - \text{sec}$
- $S(\omega)$  = spectra gelombang,  $\text{ft}^2 - \text{sec}$
- $RAO$  = *response amplitude operator*
- $\omega$  = frekuensi angular,  $\text{rad/sec}$

### 2.2.8 Simpangan (Offset)

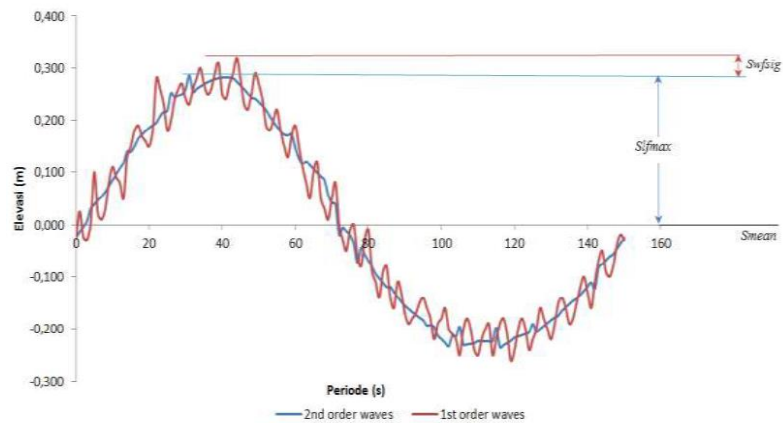
Perpindahan posisi kapal dengan jarak tertentu sejauh  $x$  meter setelah terkena gelombang dinamakan simpangan atau *offset*. Hal tersebut merupakan respon kapal pada saat setelah menerima beban lingkungan. Pada umumnya *offset* dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

#### 1. Mean Offset

*Mean Offset* merupakan perpindahan kapal karena kombinasi dari beban lingkungan yang diterimanya yaitu arus, *wave drift* rata-rata dan juga angin

#### 2. Maximum Offset

*Maximum Offset* merupakan *mean offset* yang mengalami pengaruh kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency motion*. Pada dasarnya kombinasi frekuensi gelombang yang terjadi adalah gabungan dari gerakan *wave-frequency* dan *low-frequency* struktur terapung seperti pada Gambar 2.6 berikut ini.



**Gambar 2.9** Penjelasan maksimum offset

Berdasarkan API-RP2SK (2005), *maximum offset* dapat ditentukan dengan melalui prosedur berikut ini :

1.  $S_{lfmax} > S_{wfmax}$  , maka:

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \dots \dots \dots (2.22)$$

2.  $T_{wfmax} > T_{lfmax}$  , maka:

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan :

$S_{mean}$  = mean offset (m)

$S_{max}$  = maximum offset (m)

$S_{wfmax}$  = maximum wave frequency motion (m)

$S_{wfsig}$  = significant wave frequency motion (m)

$S_{lfmax}$  = maximum low-frequency motion (m)

$S_{lfsig}$  = significant low-frequency motion (m)

## 2.2.9 Tension Tali Tambat

Gerakan pada struktur bangunan apung seperti FLNG akibat pengaruh dari beban lingkungan menyebabkan terjadinya tarikan (*tension*) pada tali tambat (*mooring lines*) yang terpasang pada struktur tersebut. Tension pada tali tambat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

### 1. Mean tension

*Mean tension* merupakan tension pada rantai (*chain*) yang berkaitan dengan mean offset pada FLNG

### 2. Maximum Tension

*Maximum Tension* merupakan *mean tension* yang mengalami pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.

Berdasarkan API-RP2SK 3rd edition, maximum tension dapat ditentukan melalui prosedur berikut ini:

#### 1. $T_{lfmax} > T_{wfmax}$ , maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots \dots \dots (2.24)$$

#### 2. $T_{wfmax} > T_{lfmax}$ , maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots \dots \dots (2.25)$$

Keterangan :

$T_{mean}$  = mean tension

$T_{max}$  = maximum tension

$T_{wfmax}$  = maximum wave frequency tension

$T_{wfsig}$  = significant wave frequency tension

$T_{lfmax}$  = maximum low-frequency tension

$T_{lfsig}$  = significant low-frequency tension

*Tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat dalam *rule*. *Safety factor* tersebut sebagai patokan untuk mengetahui apakah desain system tambat tersebut aman atau tidak. Pengecekan dilakukan pada setiap tali tambat dan diperhatikan nilai tensionnya. Menurut ABS (2004), *safety factor* untuk *mooring liness* harus lebih besar dari 1,67. Persamaan *safety factor* yang digunakan adalah :

$$Safety\ Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \dots \dots \dots (2.26)$$

### 2.2.10 Tegangan Normal

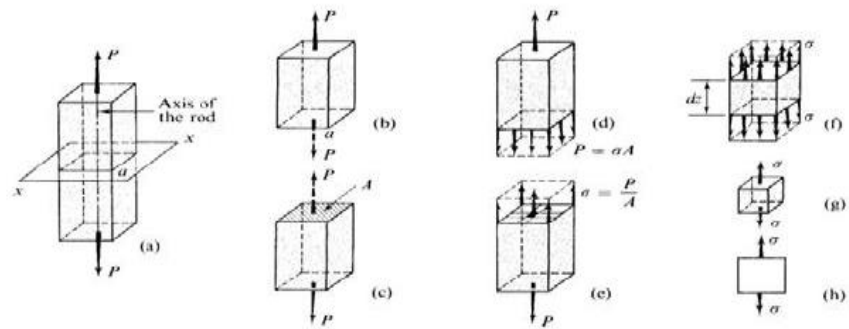
Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap penampang suatu bidang dan ditimbulkan oleh gaya aksial dan momen lentur yang bekerja pada bidang tersebut. Persamaan tegangan normal adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.27)$$

Keterangan :

F = Gaya yang bekerja terhadap suatu bidang (N)

A = Luas penampang suatu bidang (m<sup>2</sup>)



**Gambar 2.10** Tegangan normal pada bidang ([slideplayer.info/slide/2852179/](http://slideplayer.info/slide/2852179/))

Pada suatu bidang yang menahan gaya aksial, tegangan yang bekerja pada bidang tersebut hanyalah tegangan normal saja sementara tegangan geser tidak akan terjadi.

### 2.2.11 Tegangan Geser (*Shear Force*)

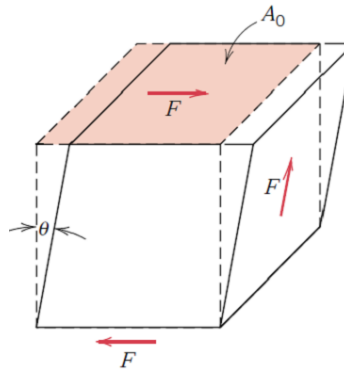
Gambar 2.11 merupakan penjabaran gaya yang bekerja pada tegangan geser. Persamaan tegangan geser adalah sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.28)$$

Keterangan :

F = Gaya yang bekerja terhadap suatu bidang (N)

A = Luas penampang suatu bidang (m<sup>2</sup>)



**Gambar 2.11** Tegangan geser pada suatu bidang (metallurgist.wordpress.com )

### 2.2.12 Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

Tegangan lentur (*bending*) yang padat dilihat pada Gambar 2.12, merupakan momen bidang luar yang diimbangi oleh momen dalam yang menghasilkan resultan gaya. Berikut merupakan persamaan dari tegangan lentur (*bending stress*) :

$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left( -\frac{y}{c} f_{max} \right) dA \cdot y = -\frac{f_{max}}{c} \int_A y^2 dA \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana,

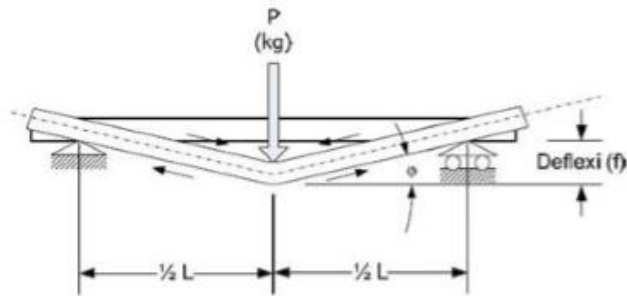
$$\int_A y^2 dA = I \dots \dots \dots (2.30)$$

Merupakan besaran penampang yang disebut momen inersia terhadap titik berat penampang. Jadi persamaannya menjadi :

$$M = -\frac{f_{max}}{c} I \text{ atau } f_{max} = -\frac{M c}{I} \dots \dots \dots (2.31)$$

Berikut persamaan tegangan lentur (*bending*) pada sembarang titik yang berjarak y dari garis netral :

$$f = -\frac{M y}{I} \dots \dots \dots (2.32)$$



**Gambar 2.12** Tegangan lentur (*bending*) pada suatu bidang  
(sanggapramana.wordpress.com)

### 2.2.13 Tegangan Von Mises

Tegangan yang terjadi dalam sebuah struktur tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan, termasuk pelat kapal dan pelat bilah agar tidak kehilangan stabilitasnya (tidak mengalami buckling). Sebuah struktur kapal juga harus memiliki daya untuk menahan beban – beban operasional tambahan yang terjadi dengan aman, yaitu tegangan yang terjadi dalam struktur. Persamaan berikut ini dapat dipakai untuk menghitung tegangan tersebut :

$$\sigma(x,y) = \frac{M_x Y}{I} \dots\dots\dots (2.33)$$

Keterangan :

- $M_x$  = momen bending (ton.m)
- $Y$  =jarak normal bidang (m)
- $I$  = momen inersia bidang ( $m^2$ )

Jarak  $Y$  harus ditentukan karena merupakan jarak titik berat bagian yang dihitung tegangannya terhadap sumbu netral (garis mendatar yang melalui titik berat penampang), dan menghitung momen inersia penampang  $I(x)$ . Pada tiap-tiap sumbu dalam bidang tiga dimensi dapat diketahui tegangan utama ( **$\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$** ) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots (2.34)$$



Keterangan :

- $\sigma_o$  = Tegangan utama yang bekerja pada sumbu (Pa)
- $\sigma_x$  = Tegangan arah sumbu x (Pa)
- $\sigma_y$  = Tegangan arah sumbu y (Pa)
- $\sigma_z$  = Tegangan arah sumbu z (Pa)
- $\sigma_{xy}$  = Tegangan arah sumbu xy (Pa)
- $\sigma_{xz}$  = Tegangan arah sumbu xz (Pa)
- $\sigma_{yz}$  = Tegangan arah sumbu yz (Pa)

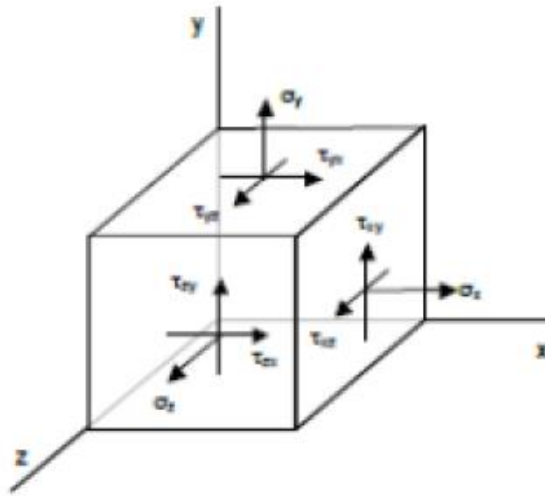
Gabungan tegangan-tegangan utama pada suatu element merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \dots (2.34)$$

Keterangan :

- $\sigma_{eq}$  = Tegangan ekuivalen (von mises stress) (Pa)
- $\sigma_x$  = Tegangan normal sumbu x (Pa)
- $\sigma_y$  = Tegangan normal sumbu y (Pa)
- $\sigma_z$  = Tegangan normal sumbu z (Pa)
- $\tau_{xy}$  = Tegangan geser bidang xy (Pa)
- $\tau_{yz}$  = Tegangan geser bidang yz (Pa)
- $\tau_{zx}$  = Tegangan geser bidang zx (Pa)

Gambar 2.13 merupakan penjabaran gaya yang bekerja pada tegangan *von-mises*. Penjabaran gaya tersebut dijelaskan menurut sumbu x, sumbu, y dan sumbu z pada suatu bidang 3dimensi.

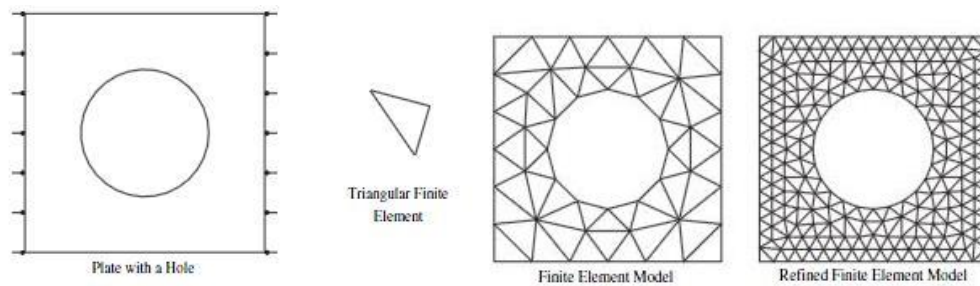


**Gambar 2.13** Tegangan *von mises* pada suatu bidang tiga dimensi (Yani, 2015)

#### 2.2.14 Finite Element Method

Metode Elemen Hingga adalah metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Konsep paling dasar FEM adalah, menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah. Kata “*finite* atau terhingga” digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik.

Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut “*discretizing* atau diskritisasi”. Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut *nodal*, atau *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut seperti contohnya ditunjukkan pada Gambar 2.14. Membagi sebuah object menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun kita kepada pembuatan persamaan diferensial. Jadi secara lebih matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Jenis elemen hingga terbagi atas dua yaitu solid finite element dan shell finite element. Pemilihan jenis elemen tersebut ditentukan berdasarkan model struktur atau benda yang ingin dimodelkan.



**Gambar 2.14** Konsep metode elemen hingga

Pada analisis struktur, penyelesaian yang didapat adalah deformasi (displacement) pada setiap titik (nodes) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-2 regangan (strain) dan tegangan (stress). Sementara untuk masalah bukan struktur analisis yang dapat dilakukan dengan FEM adalah *heat transfer* dan fluid flow.

Persamaan sederhana dari kesetimbangan sistem struktur yang dimodelkan dalam FEM dinyatakan dalam persamaan 2.35 sebagai berikut :

$$F = K d \dots \dots \dots (2.35)$$

Keterangan :

- F = Gaya yang bekerja pada struktur FEM (N)
- K = Kekakuan pada benda struktur FEM (N/mm)
- d = Displacement pada struktur FEM (mm)

Sedangkan persamaan elemen yang dihasilkan secara umum adalah sebagai berikut:

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \dots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \dots \\ d_n \end{Bmatrix} \dots \dots \dots (2.36)$$

Keterangan :

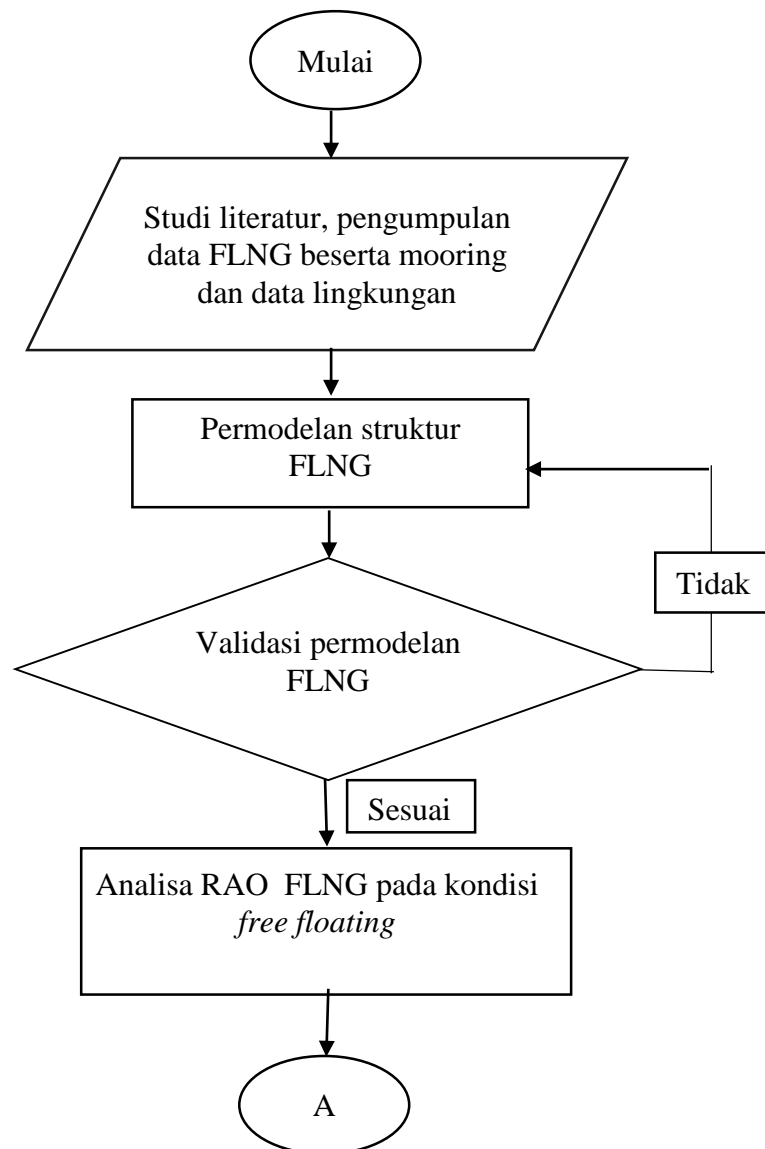
- {f} = Matrik gaya yang bekerja pada struktur FEM (N)
- [k] = Matrik kekakuan pada benda struktur FEM (N/mm)
- {d} = Matrik deformasi pada struktur FEM (mm)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

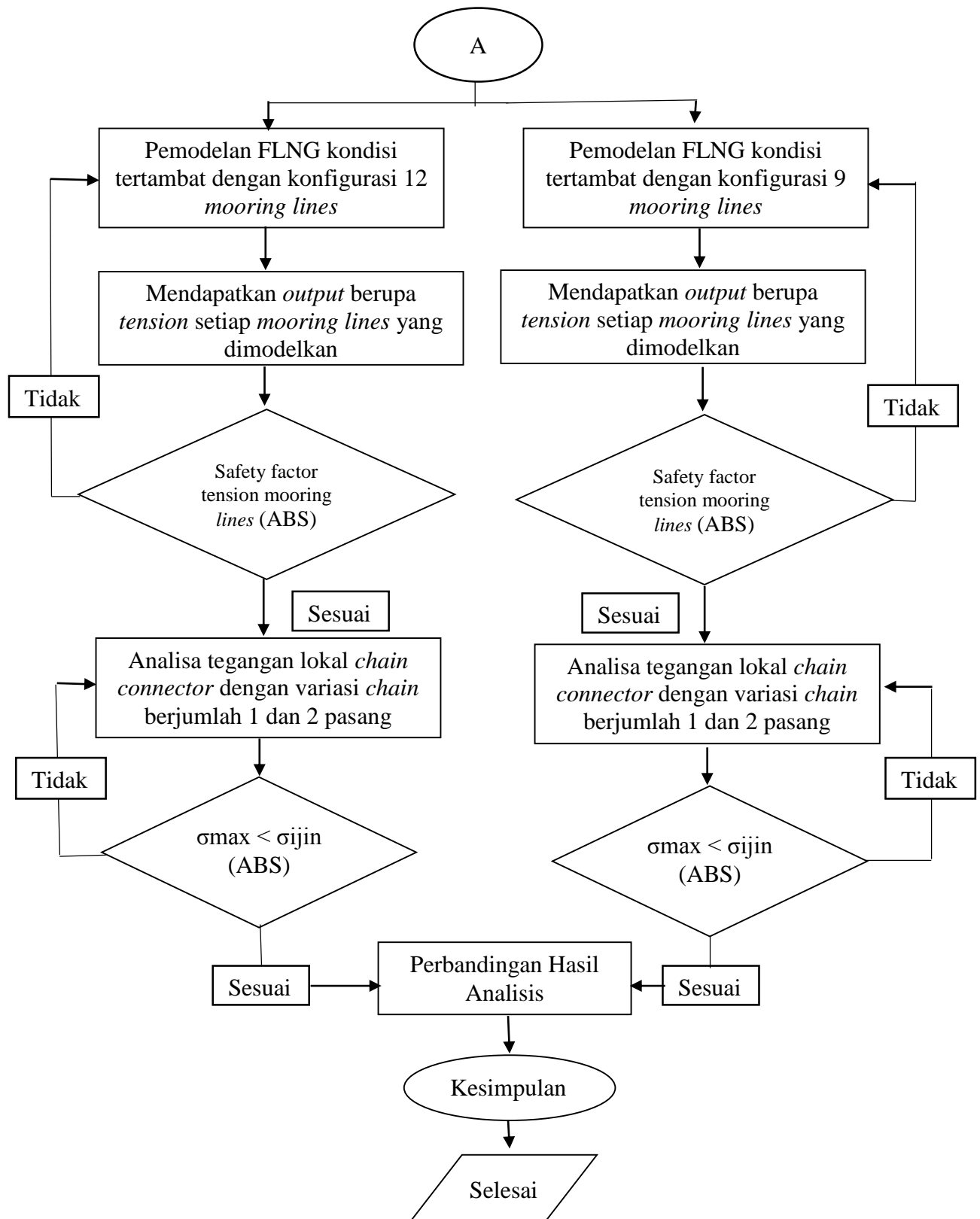
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 SKEMA DIAGRAM ALIR

Langkah kerja penelitian yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) Gambar 3.1 sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metode Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metode Penelitian (Lanjutan)

## **3.2 PROSEDUR PENELITIAN**

Metode yang dipakai dalam analisa dinamis pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode numerik, dimana pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *HydroSTAR* (BV,2015) dan pemodelan dan analisa *mooring system* akan menggunakan *software Ariane* (BV,2015). Sedangkan untuk analisa kekuatan dan tegangan lokal akan menggunakan metode *finite element method* (FEM).

### **3.2.1 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan langkah pertama dalam prosedur pengerjaan tugas akhir ini. Studi literatur bertujuan untuk mengetahui lebih banyak informasi mengenai *FLNG* dan sistem *mooringnya*. Studi literatur dapat berupa jurnal tugas akhir sebelumnya yang relevan, jurnal internasional, buku, *code/rules* beserta *software* yang akan mendukung pengerjaan tugas akhir. Pengumpulan data juga diperlukan untuk mendapatkan bentuk konkrit dari struktur dan lingkungan sebenarnya yang akan dimodelkan.

### **3.2.2 Pemodelan Struktur FLNG**

Pemodelan struktur FLNG dimodelkan menggunakan *software HydroSTAR* (BV,2015) berdasarkan data yang ada.

### **3.2.3 Validasi Pemodelan *HYDROSTAR***

Validasi diperlukan untuk memeriksa model struktur yang sudah dimodelkan apakah sudah sesuai dengan data struktur sesungguhnya. Struktur yang diperiksa kesesuaiannya adalah FLNG dengan parameter *displacement* dan parameter penting lainnya sesuai dengan kriteria dari *American Beureau of Shipping* (ABS, 2001).

### **3.2.4 Analisa RAO FLNG pada saat *free floating***

Setelah validasi permodelan dilakukan dan hasilnya telah mendekati data lapangan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa RAO FLNG pada saat kondisi *free floating* dengan menggunakan *software HydroSTAR* (BV,2015).

### **3.2.5 Permodelan konfigurasi *mooring lines* pada FLNG dengan *software Ariane***

Langkah selanjutnya adalah pemodelan konfigurasi *mooring lines* dengan menggunakan *software Ariane* (BV,2015) pada FLNG pada saat tertambat dengan menggunakan *turret mooring system*. Pada tahap ini akan dilakukan dua kali permodelan yaitu pada saat FLNG dengan konfigurasi 12 *lines* dan pada saat FLNG dengan konfigurasi 9 *lines*.

### **3.2.6 Mendapatkan *output* dari *software Ariane*.**

Setelah dilakukan permodelan FLNG pada saat sistem tertambat, langkah selanjutnya adalah melakukan *running time domain analysis* selama 3 jam dengan menggunakan *software Ariane* (BV,2015) sehingga *output* yang didapatkan adalah berupa perilaku gerak FLNG pada saat tertambat, *offset* dan *tension mooring lines* dengan konfigurasi 12 *lines* dan 9 *lines*.

### **3.2.7 Analisa Tegangan pada *Chain Connector***

Tegangan lokal *chain connector* pada FLNG Masela dilakukan dengan menggunakan metode *finite element method* (FEM). Beban yang digunakan dalam analisa lokal ini yaitu beban *tension mooring line* terbesar dan distribusi tegangan pada *chain connector* akibat gerakan struktur. Kemudian dilakukan analisis terhadap tegangan von mises pada *chain connector* yang didapat. Analisis dilakukan dengan mengacu pada standar yang digunakan, yaitu *American Bureau of Shipping* (ABS, 2001) untuk mengetahui apakah struktur tersebut sesuai dengan kriteria atau tidak.

### **3.2.8 Pengambilan Kesimpulan dari Penelitian**

Akhir dari analisis penelitian tugas akhir ini adalah dengan mengetahui perbandingan kekuatan pada *chain connector* yang telah dimodelkan dengan konfigurasi 12 *lines* dan 9 *lines*.



Salah satu komponen yang penting dalam sebuah penelitian dan analisis tugas akhir adalah pengumpulan data. Tujuan dari pengumpulan data adalah untuk mendapatkan data yang valid, sehingga tidak ada keraguan dalam hasil dan kesimpulan dalam penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang sudah ada dan juga data sekunder yang dapat menunjang dan berhubungan dengan penelitian.

Data-data struktural yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berkenaan dengan FLNG dan *mooring lines*. FLNG yang digunakan dalam penelitian ini adalah FLNG Masela dimana bentuk *hull* kapal, *bow* kapal, dan *stern* kapal dapat dilihat pada *lines plan* yang tertera pada Gambar 3.2 berikut ini.



39

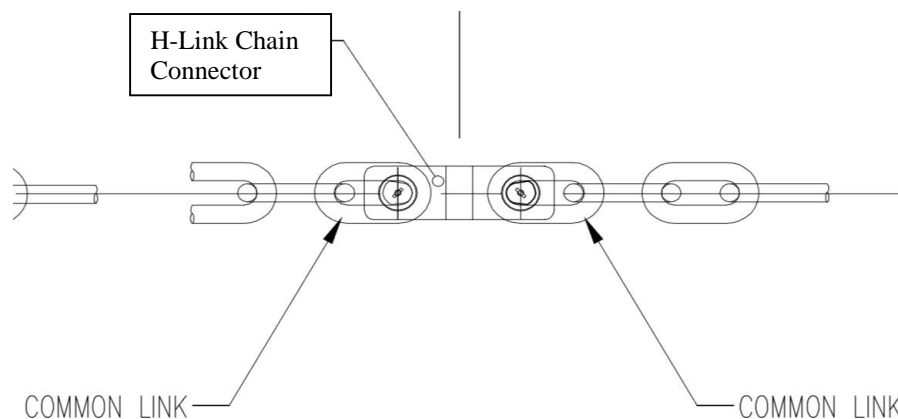
**Tabel 3.1** *Principle dimension* FLNG Masela (Saipem,2011)

Parameter	Simbol	Satuan	Kuantitas
<i>Length (Overall)</i>	Loa	m	420
<i>Length (Perpendicular)</i>	Lpp	m	410
<i>Moulded Breadth</i>	B	m	70
<i>Moulded Depth</i>	H	m	36
<i>Draught (Full Load)</i>	T(L)	m	15,5
<i>Draught (Ballast)</i>	T(B)	m	14,5
<i>Displacement</i>		ton	424915

Data *mooring properties* berupa dimensi, tipe, *material grade* dan lain-lain dijelaskan dalam Tabel 3.2 berikut ini :

**Tabel 3.2** Spesifikasi segmen pada *mooring lines* (: Saipem, 2011)

<i>Bottom Chain/Top Chain</i>		<i>Wire Rope</i>	
Diameter	122 mm	Diameter	98 mm
Type	Studless	Type	SRP2plus
Grade	R3	Grade	-
Weigth in air	298 kg/m	Weigth in air	54
Weigth in water	259 kg/m	Weigth in water	43
EA	9650 MN	EA	954 MN

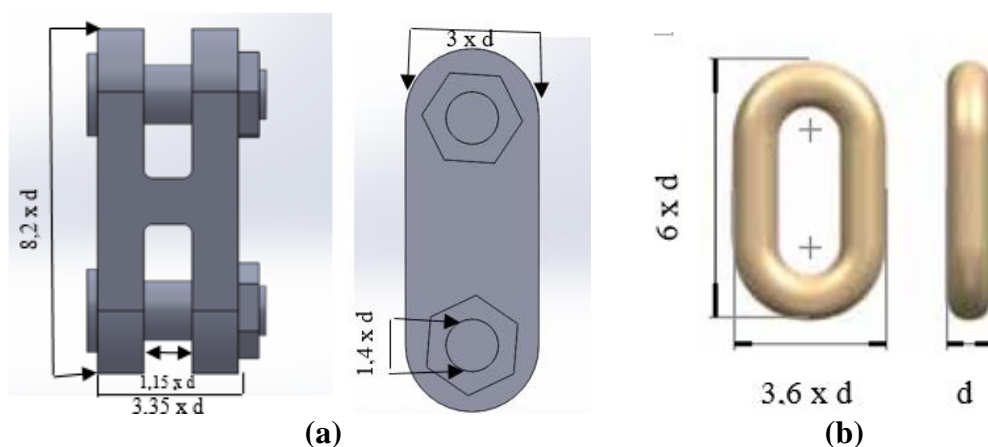


**Gambar 3.3** *H-link chain connector* pada *external mooring system* FLNG (Saipem, 2011)

Untuk ukuran panjang segmen dan panjang *anchoring radius* atau jarak penjangkaran dijelaskan pada Tabel 3.3, sedangkan untuk dimensi *chain connector* dan *chain* dijelaskan pada Gambar 3.4 berikut ini :

**Tabel 3.3** Ukuran panjang segmen dan *anchoring radius* (Saipem, 2011)

Komponen	Unit	Nilai
<i>Anchoring Radius</i>	m	1290
<i>Top Chain</i>	m	60
<i>Wipe Rope</i>	m	905
<i>Bottom Chain</i>	m	500



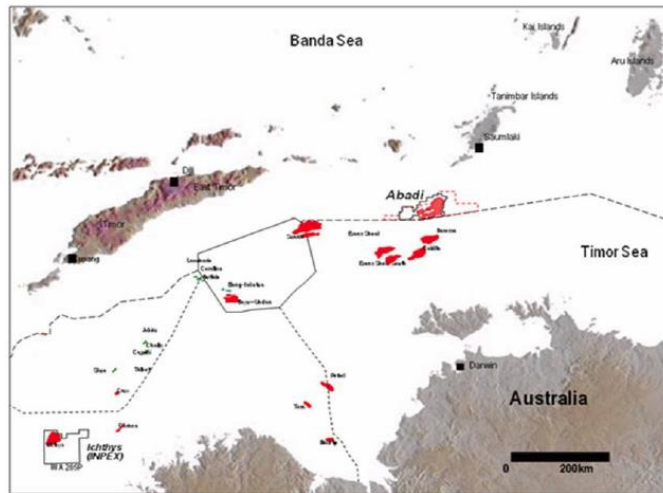
**Gambar 3.4** (a) H-Link *chain connector* (b) *chain (common link)*  
(Vicinity Catalogue, 2012)

### 3.3.2 Data Lingkungan

Data lingkungan sangat diperlukan dalam analisis pada tugas akhir ini karena kondisi lingkungan tempat beroperasinya bangunan lepas pantai sangat mempengaruhi kinerja struktur. Tempat FLNG ini beroperasi adalah di Laut Timor yang memiliki kedalaman air sekitar 600 meter, tepatnya di blok Masela yang terletak sekitar 400 km sebelah utara Kota Darwin, Australia, dan kurang lebih 150 km sebelah barat daya Pulau Tanimbar. Blok Masela berada di sebelah selatan Selat Timor. Detail lokasi sementara (secara tentatif) dijelaskan pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.5.

**Tabel 3.4** Detail lokasi blok masela (Saipem, 2011)

Lokasi	Blok Masela
Latitudinal	09° 07' 51''S
Longitudinal	130° 28' 00''E



**Gambar 3.5** Lokasi Blok Masela (Saipem, 2011)

Kondisi *metocean parameter* 200 tahunan dijadikan acuan untuk kondisi operasi FLNG Masela dijelaskan pada Tabel 3.5 berikut :

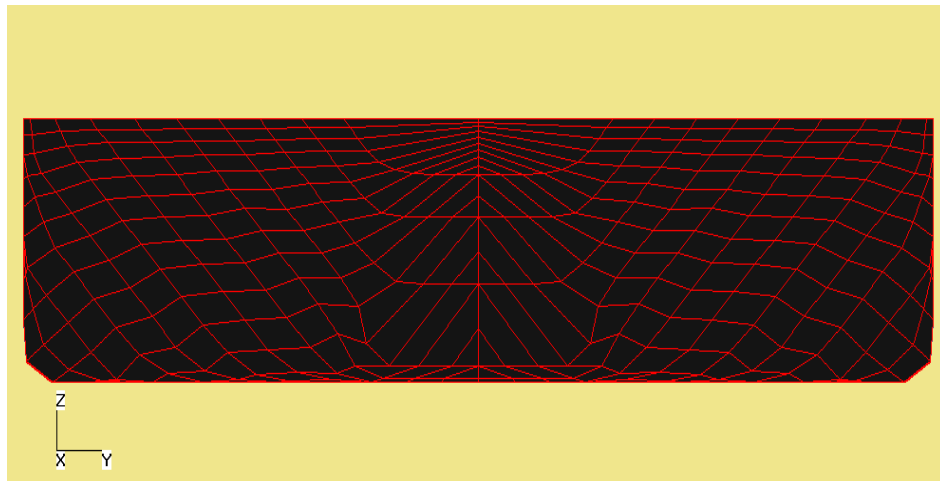
**Tabel 3.5** Parameter *metocean* kondisi lingkungan Masela

Intensity Parameter	Unit	Wind Peak	Wave Peak	Current Peak
Vw	(m/s)	24,37	24,37	23,48
Hs	(m)	7,07	7,28	6,46
Tp	(s)	10,6	10,74	10,17
γ	(-)	1,35	1,36	1,32
Vc	(m/s)	1,29	1,08	1,39

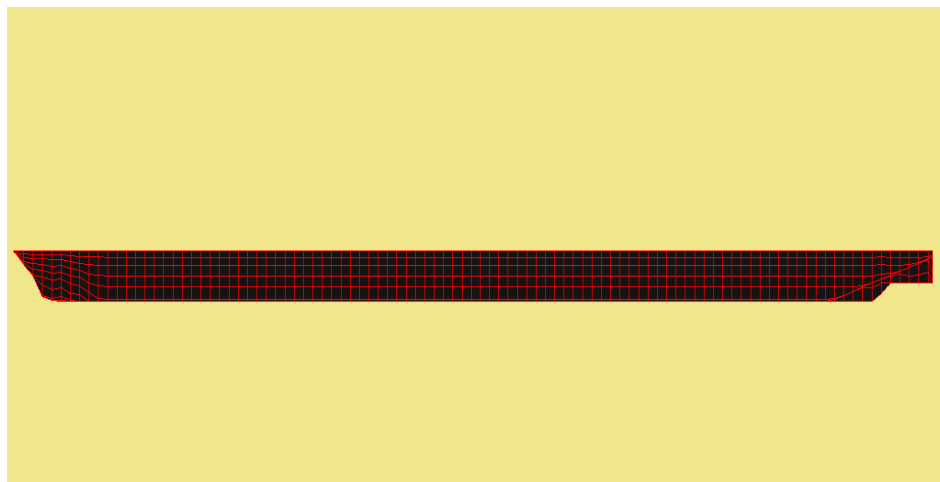
## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 PEMODELAN STRUKTUR FLNG

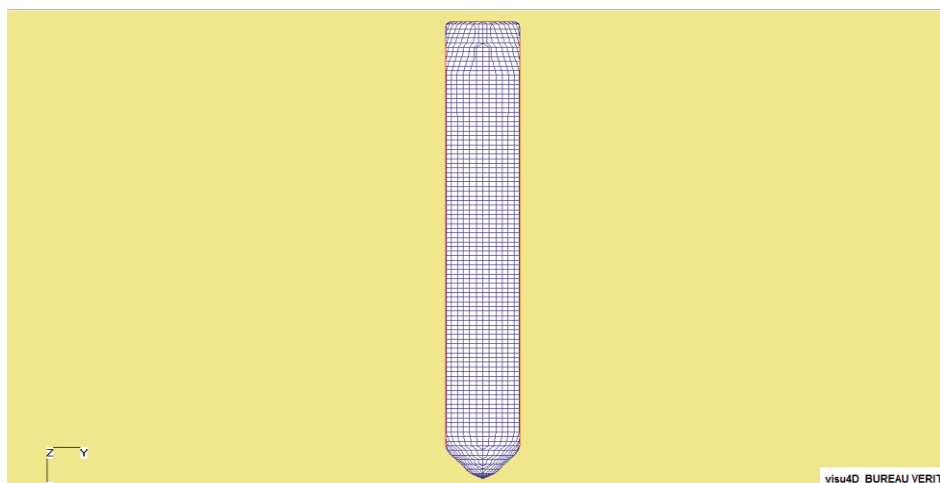
Dalam analisis tugas akhir ini perlu dilakukan pemodelan terhadap struktur FLNG dengan *software HydroSTAR 7.23 (BV,2015)*. Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan *lines plan* kapal, bentuk geometri serta karakteristik hidrostatis kapal sesuai data *General Arrangement* yang ada. Pada pemodelan ini, kapal dimodelkan dalam kondisi *free floating* atau dalam arti lain tidak tertambat sistem *mooring*. Selanjutnya apabila pemodelan telah selesai maka dilakukan validasi terhadap struktur model dengan struktur aslinya. Gambar 4.1 hingga Gambar 4.2 merupakan hasil pemodelan FLNG Masela dengan menggunakan *software HydroSTAR*.



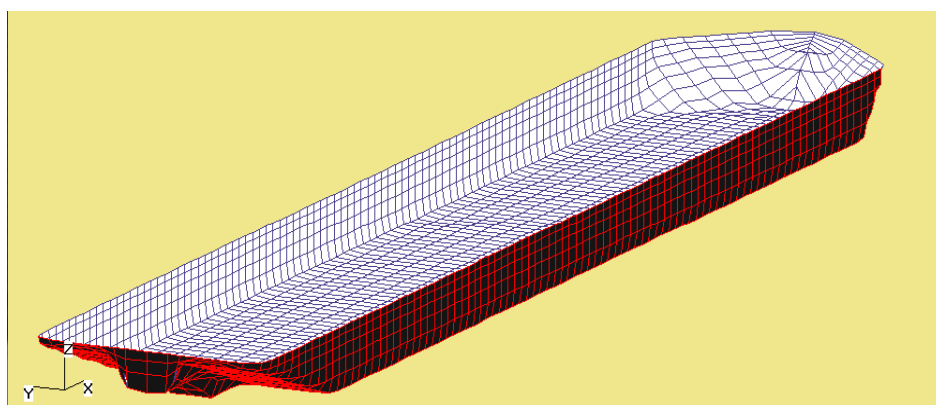
**Gambar 4.1** Model FLNG tampak depan



**Gambar 4.2** Model FLNG tampak samping



**Gambar 4.3** Model FLNG tampak atas



**Gambar 4.4** Model FLNG tampak isometri

Setelah pemodelan selesai maka perlu dilakukan validasi terhadap struktur model tersebut agar diketahui apakah FLNG sudah layak dan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya atau belum. Apabila belum, maka perlu dilakukan pemodelan ulang hingga validasi memenuhi. Tabel 4.1 merupakan aturan validasi berdasarkan ABS (2012).

**Tabel 4.1** ABS (2012) *Computation model acceptable tolerances*

<b>INDICATOR</b>	<b>ACCEPTABLE TOLERANCE</b>
Displacement	2%
Longitudinal center of buoyancy (LCB)	1% / 50 cm max
Vertical center of buoyancy (VCB)	1% / 50 cm max
Transverse center of buoyancy (TCB)	0.5% of B / 5 cm max
Longitudinal center of floatation (LCF)	1% / 50 cm max
Transverse metacentric height (KMt)	1% / 50 cm max
Longitudinal metacentric height (KMI)	1% / 50 cm max
Volume or deadweight	2%
Longitudinal center of gravity (LCG)	1% / 50 cm max
Vertical center of gravity (VCG)	1% / 5 cm max

Transverse center of gravity (TCG)	0.5% of B / 5 cm max
Free surface moment (FSM)	2%
Level of contents	2%

Mengacu pada ketentuan ABS yang dijelaskan pada Tabel 4.1 diatas, maka didapatkan validasi pemodelan FLNG yang ditinjau pada saat kondisi *full load* yang dijelaskan pada Tabel 5.2 sebagai berikut :

**Tabel 4.2** Validasi model FLNG pada *HydroSTAR*

Validasi	Satuan	Model		Koreksi (%)	Kriteria
		Data	<i>HydroSTAR</i>		
Displacement	ton	424915	428720	-0.895	Memenuhi
LOA	m	420	420	0.000	Memenuhi
LWL	m	410	410	0.000	Memenuhi
LPP	m	410	410	0.000	Memenuhi
Depth	m	36	36	0.000	Memenuhi
Breadth	m	70	70	0.000	Memenuhi
T	m	15.5	15.5	0.000	Memenuhi
LCF terhadap FP	m	201	201.02	-0.010	Memenuhi
LCB terhadap FP	m	204	204.89	-0.436	Memenuhi
KG	m	25.49	25.49	0.000	Memenuhi
KB	m	8.51	8.51	0.000	Memenuhi
Keel to Metacenter Transversal (KMT)	m	35.813	35.59	0.623	Memenuhi
Keel to Metacenter Longitudinal (KML)	m	924.23	915.84	0.908	Memenuhi
Buoy to Metacenter Transversal (BMT)	m	26.032	25.975	0.219	Memenuhi
Buoy to Metacenter Longitudinal (BML)	m	861.732	856.543	0.602	Memenuhi

Apabila dilihat nilai perbandingan antara data asli dengan pemodelan pada *HydroSTAR*, dapat dilihat bahwa semuanya telah memenuhi kriteria karena untuk nilai displacement dibawah 2% dan ketentuan lainnya bernilai dibawah 1%. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemodelan sudah valid karena mendekati nilai model sesungguhnya dan dapat digunakan untuk tahapan analisis selanjutnya dalam tugas akhir ini.

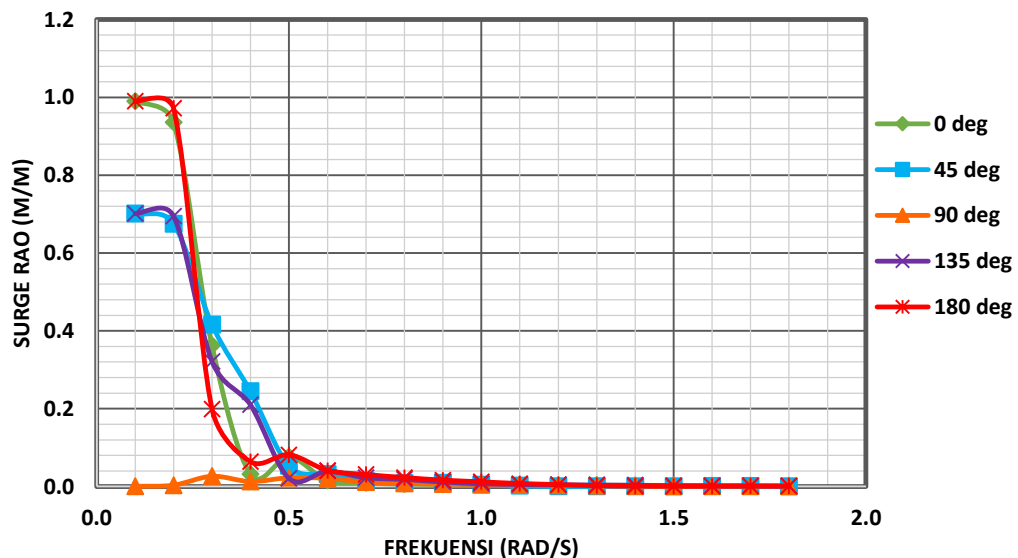
## 4.2 ANALISA *RESPONSE AMPLITUDE OPERATOR* (RAO) FLNG KONDISI *FREE FLOATING*

Analisis perilaku gerak FLNG pada saat terapung bebas (*free floating*) perlu dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon struktur pada gelombang reguler, pada saat frekuensi tertentu yang tersaji dalam grafik RAO. Dengan bantuan *software HydroSTAR V.7.23 (BV,2015)* akan diketahui bagaimana respon struktur apabila menerima pembebanan dari lima arah, yakni  $0^0$ ,  $45^0$ ,  $90^0$ ,  $135^0$ , dan  $180^0$ . Selanjutnya RAO akan dijabarkan dalam gerakan *surge*, *sway*, *heave* atau gerakan transional dan juga *roll*, *pitch*, *yaw* atau gerakan rotasional yang tergabung dalam gerakan enam derajat kebebasan (*six degrees of freedom*).

Grafik fungsi transfer gelombang terhadap gerakan struktur RAO, disajikan dengan sumbu-x yang merupakan *wave frequency* (rad/s) sedangkan pada sumbu-y merupakan besarnya RAO (m/m untuk gerakan transional dan, deg/m untuk gerakan rotasional). Pada analisis kali ini RAO ditinjau pada saat FLNG berada dalam kondisi muatan penuh atau *full load*. Berikut ini adalah hasil analisis RAO FLNG pada saat terapung bebas (*free floating*) :

- **Gerak Transional**

1. RAO pada saat gerakan *surge*



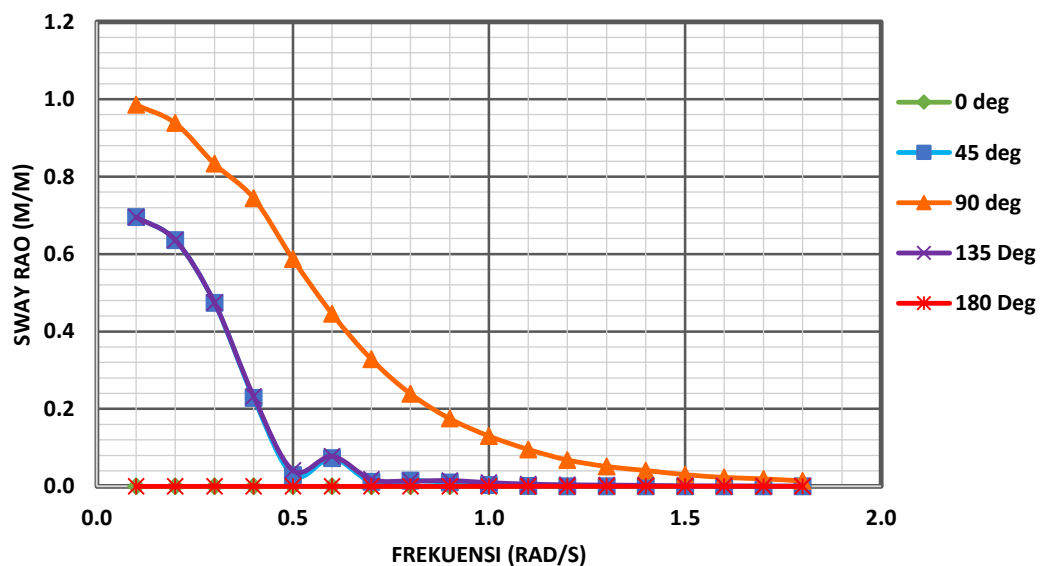
**Gambar 4.5** Grafik RAO pada saat gerakan *surge*

Mode gerakan *surge* merupakan salah satu gerakan transional dimana struktur mengalami perpindahan jarak dari tempatnya semula. Pada gerakan *surge* struktur



akan bergerak secara horizontal dari kedudukan awalnya. Dari grafik pada Gambar 4.5 diketahui bahwa RAO pada gerakan *surge* didominasi oleh gelombang buritan ( $0^\circ$ ) dan gelombang haluan ( $180^\circ$ ) yang bernilai sama yaitu 0,989 m/m yang terjadi pada frekuensi 0,1 rad/s. Kemudian RAO terbesar kedua diikuti oleh gelombang perempat arah ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ) dengan nilai 0,701 m/m yang juga terjadi pada frekuensi 0,1 rad/s. Sedangkan untuk gelombang arah samping ( $90^\circ$ ) memiliki nilai yang sangat kecil yaitu 0,022 m/m. Hal ini disebabkan karena pada mode gerakan *Surge* gelombang pada arah  $90^\circ$  tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap gerakan struktur.

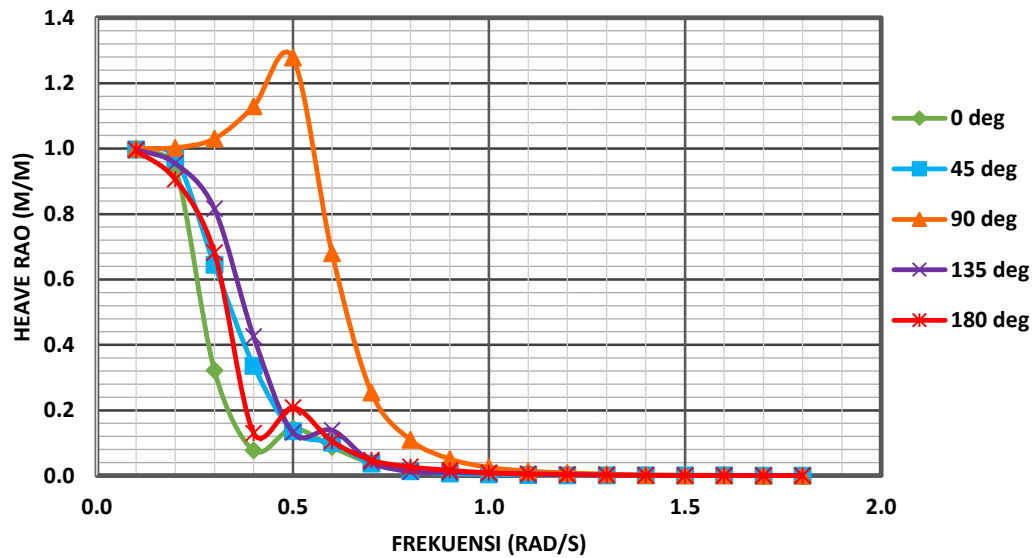
## 2. RAO pada saat gerakan *sway*



**Gambar 4.6** Grafik RAO pada saat gerakan *sway*

Dari Gambar 4.6 dapat dianalisis bahwa RAO pada saat gerakan *sway* terbesar terjadi pada saat pembebanan dari arah  $90^\circ$  dengan nilai 0,985 m/m pada frekuensi kecil 0,1 rad/s. Hal ini disebabkan karena mode gerakan *sway* merupakan gerakan yang paling banyak merespon gelombang dari arah sisi dan struktur akan bergerak menyamping, arah selanjutnya yang memiliki pengaruh terbesar kedua adalah dari arah  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  sebesar 0,695 m/m yang juga terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Namun pada pembebanan arah haluan dan buritan ( $0^\circ$  dan  $180^\circ$ ) sama sekali tidak memiliki nilai atau 0 m/m, tetapi apabila bernilai maka nilainya teramat kecil hingga nyaris tidak memberikan pengaruh apapun terhadap mode gerakan *sway*.

### 3. RAO pada saat gerakan *heave*



**Gambar 4.7** Grafik RAO pada saat gerakan *heave*

Gerakan *heave* merupakan gerakan transional yang terakhir dan merupakan pola gerakan vertikal bangunan apung. Dapat dianalisis dari grafik RAO pada Gambar 4.7 bahwa pembebanan dari arah  $90^0$  mengalami kenaikan tajam pada daerah resonansi terbesarnya yang bernilai 1,277 m/m pada frekuensi 0,5 rad/s. Selanjutnya diikuti oleh gelombang perempat arah ( $45^0$  dan  $135^0$ ) dengan nilai 0,997 pada frekuensi 0.1 rad/s. Selanjutnya untuk gelombang butitan dan haluan memiliki nilai terkecil dengan 0,995 m/m yang juga terjadi pada frekuensi 0,1 rad/s.

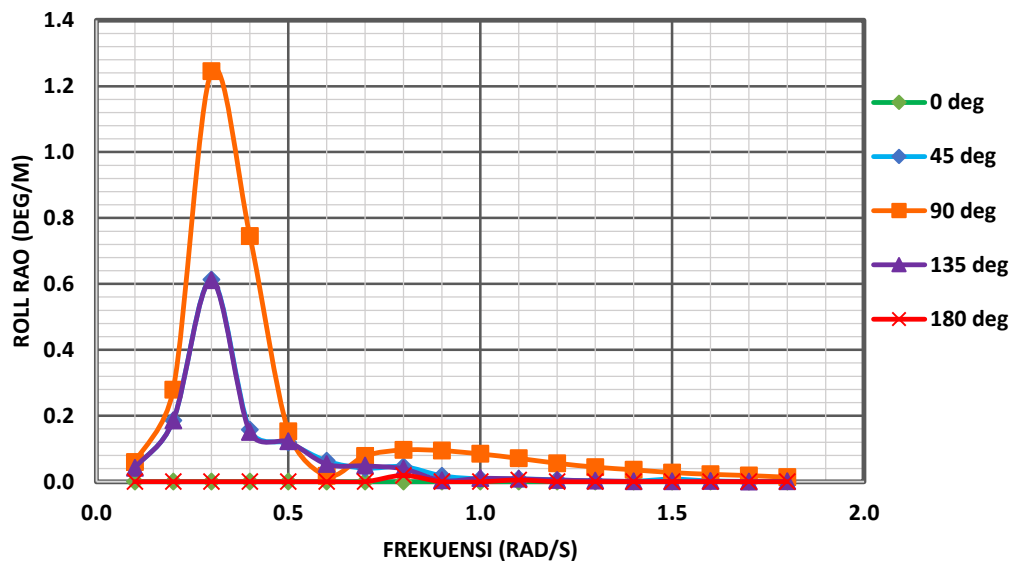
Berikut Tabel yang merangkum RAO dengan nilai terbesar pada mode gerakan transional, pada setiap arah pembebanan yang dilakukan dalam analisis :

**Tabel 4.3** RAO max. pada gerakan transional

RAO GERAKAN TRANSIONAL			
Arah (deg)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)
0	0.9897	0.0000	0.9953
45	0.7012	0.6953	0.9977
90	0.0227	0.9859	1.2779
135	0.7013	0.6953	0.9976
180	0.9897	0.0000	0.9951

- **Gerak Rotasional**

1. RAO pada saat gerakan *roll*

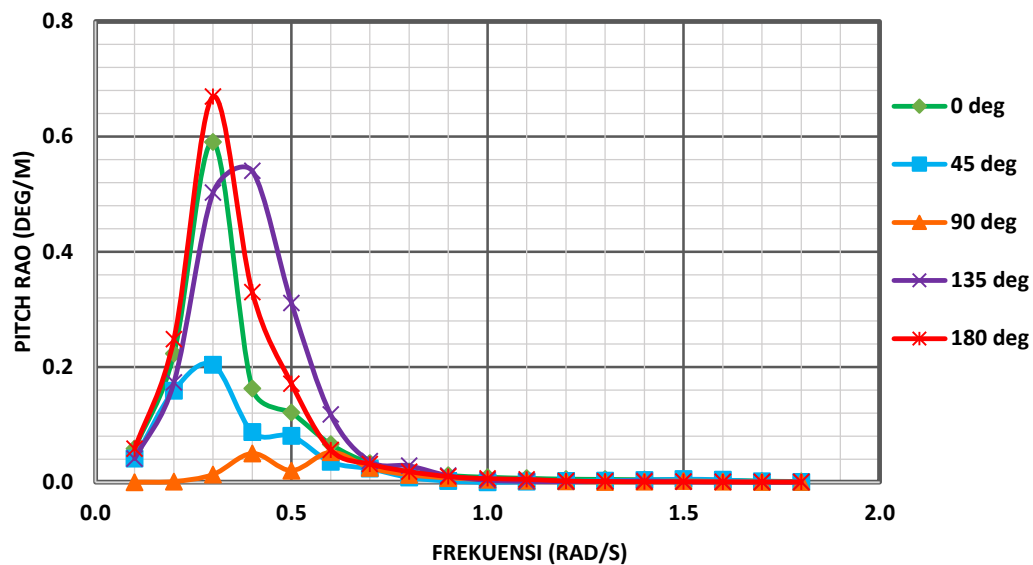


**Gambar 4.8** Grafik RAO pada saat gerakan *roll*

Pada perilaku gerakan *roll* didominasi oleh gerakan gelombang sisi dengan arah  $90^0$  dengan puncak resonansinya terjadi dengan nilai 1,245 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s. Selanjutnya diikuti dengan pembebanan perempat arah yaitu arah  $45^0$  dengan nilai RAO terbesarnya adalah 0,612 deg/m dan  $135^0$  dengan nilai RAO terbesarnya 0,610 deg/m yang keduanya terjadi juga pada frekuensi 0.2 rad/s. Sedangkan untuk gelombang arah buritan dan haluan ( $0^0$  dan  $180^0$ ) secara teoritis tidak memberi pengaruh terhadap mode gerakan *roll*. Hal tersebut disebabkan permukaan sisi samping FLNG yang lebih besar dibandingkan bagian lainnya (butitan dan haluan) dan gelombang yang paling besar memberikan pengaruh adalah gelombang sisi dan perempat sisi.

Dari Gambar 4.8 dapat dianalisis bahwa perilaku gerakan *roll* pada daerah subkritisnya merepresentasikan nilai yang kecil, lalu perlahan naik hingga mencapai puncak daerah resonansinya, kemudian turun secara signifikan pada daerah super kritis (frekuensi tinggi).

## 2. RAO pada saat gerakan *pitch*

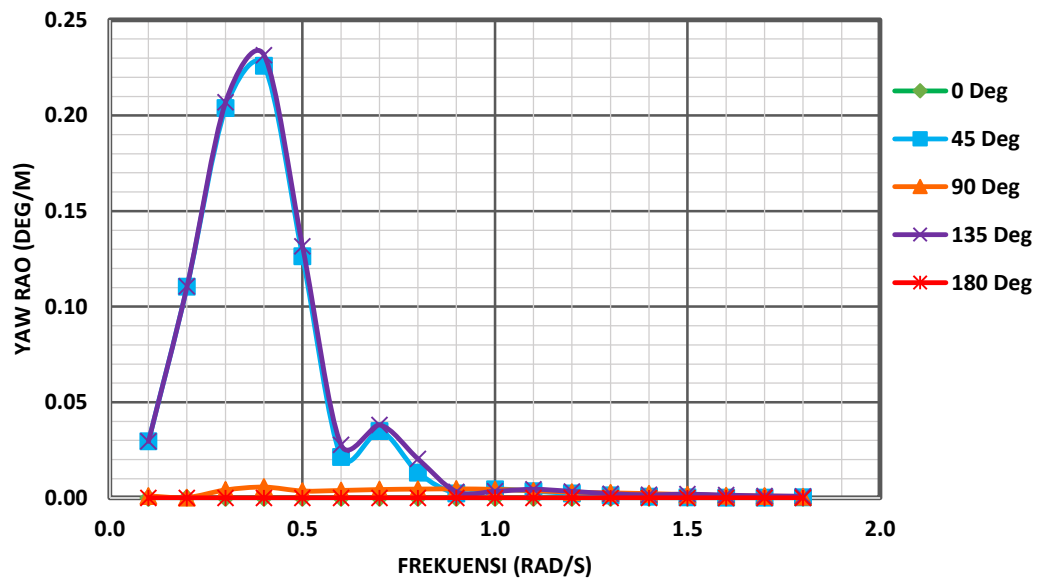


**Gambar 4.9** Grafik RAO pada saat gerakan *pitch*

Dapat dianalisis dari Gambar 4.9 bahwa mode gerakan *pitch* didominasi oleh gelombang dari arah  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ . Sementara untuk pembebanan arah  $90^{\circ}$  sangatlah kecil memberi pengaruh terhadap gerakan ini. Nilai RAO terbesar terjadi pada pembebanan arah  $180^{\circ}$  dengan nilai 0,669 deg/m, selanjutnya adalah arah  $0^{\circ}$  dengan nilai RAO sebesar 0,590 deg/m. Pada pembebanan arah  $135^{\circ}$  memiliki besar RAO terbesar 0,502 deg/m sedangkan arah  $45^{\circ}$  nilai RAO terbesarnya adalah 0,203 deg/m. Pembebanan dengan arah  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  terjadi RAO terbesar pada frekuensi 0,3 rad/s. Dapat dilihat bahwa pembebanan arah  $90^{\circ}$  nilai RAO terbesarnya sangatlah kecil yaitu sebesar 0,014 deg/m pada frekuensi 0,6 rad/s.

## 3. RAO pada saat gerakan *yaw*

Untuk RAO pada gerakan *yaw* seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.10 gelombang yang paling besar nilai RAOnya adalah gelombang pada perempat arah yaitu  $45^{\circ}$  dan  $135^{\circ}$  dengan nilai yang hampir sama yaitu 0.226 deg/m untuk  $45^{\circ}$  dan 0.231 deg/m untuk  $135^{\circ}$  yang sama-sama terjadi pada frekuensi 0,4 rad/s. Dari Gambar 4.10 juga dapat dilihat bahwa pembebanan dari arah  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  tidak memiliki nilai sama sekali terhadap gerakan *yaw*. Sedangkan untuk pembebanan arah sisi atau  $90^{\circ}$  memiliki nilai RAO yang sangat kecil yaitu sebesar 0,005 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0,4 rad/s, sehingga tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap gerakan *yaw* pada pemodelan ini.



**Gambar 4.10** Grafik RAO pada saat gerakan *yaw*

Berikut Tabel yang merangkum RAO dengan nilai terbesar pada mode gerakan rotational, pada setiap arah pembebanan yang dilakukan dalam analisis :

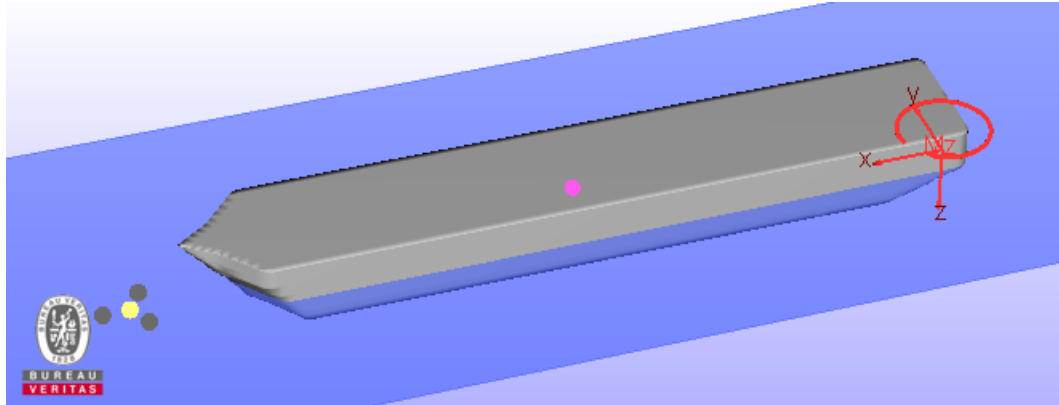
**Tabel 4.4** RAO max. pada gerakan rotasional

RAO GERAKAN ROTASIONAL			
Arah (deg)	Pitch (deg/m)	Roll (deg/m)	Yaw (deg/m)
0	0.5908	0.0000	0.0000
45	0.2037	0.6128	0.2260
90	0.0134	1.2450	0.0055
135	0.5029	0.6109	0.2315
180	0.6696	0.0000	0.0000

### 4.3 PEMODELAN FLNG KONDISI TERTAMBAT

Pada pemodelan FLNG dalam keadaan tertambat dibantu dengan menggunakan *software Ariane 8* (BV,2015). Setelah dilakukan validasi pada *software HydroSTAR 7.23* (BV,2015) maka, hasil dari *output HydroSTAR* berupa karakteristik hidrostatis dan hidrodinamis akan menjadi bahan *inputan* untuk *Ariane 8*.

Pemodelan dimulai dengan *import* dari hasil pemodelan berupa bentuk geometri dan *meshing*. Pada analisis ini FLNG dianalisis dalam keadaan *full load* atau dalam kondisi muatan penuh, dengan sarat air 15,5 m. Hasil pemodelan struktur bangunan apung tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11.

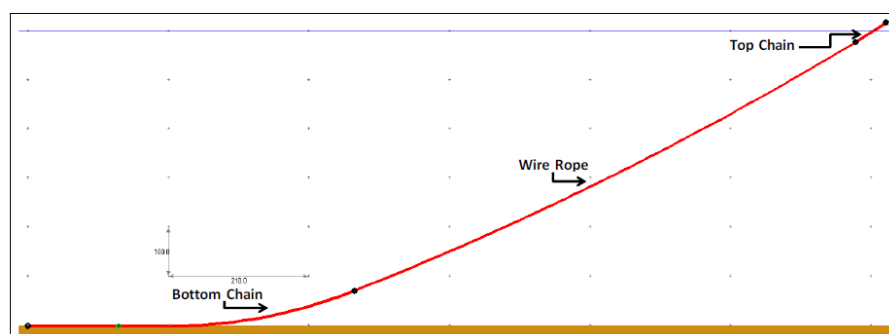


**Gambar 4.11** Input FLNG untuk pemodelan kondisi tertambat

Langkah selanjutnya adalah menentukan letak titik atau koordinat dari *external turret* dan *fairlead*. Berikut penentuan koordinat tersebut :

1. Jarak *center line external turret* adalah 31m di depan FP.
2. Pada konfigurasi 12 *mooring lines* terbagi atas 3 group dengan jarak  $120^\circ$  dengan masing-masing grup terdiri dari 4 *mooring lines* dengan jarak antar *mooring lines*  $10^\circ$
3. Pada konfigurasi 9 *mooring lines* terbagi atas 3 group dengan jarak  $120^\circ$  dengan masing-masing grup terdiri dari 3 *mooring lines* dengan jarak antar *mooring lines*  $10^\circ$

Pemodelan dilanjutkan dengan menambahkan karakter hidrostatik dari *HydroSTAR 7.23* sebagai *loading component* yang diantaranya adalah *added mass*, *damping*, *stiffness*, *loads RAO*, *second order load (Wave drift)*, *wind coefficient*, *current coefficient* dan lain sebagainya. Pada pemodelan bentuk *mooring lines* disesuaikan dengan data yang ada, dengan segmen yang terbagi menjadi 3 dan memiliki panjang total 1465 m. *Mooring lines* dimodelkan dengan tipe *catenary* atau tipe menggantung bebas (*free hanging*). Gambar 4.12 menjelaskan tentang urutan segmen dan bentuk mooring *catenary* yang dimodelkan dalam analisis ini.



**Gambar 4.12** Segmentasi *mooring lines* dengan tipe *catenary*

Penjelasan *properties* yang meliputi panjang, diameter, dan tipe material untuk setiap segmen segmen pada *mooring lines* tersebut dijelaskan pada Tabel 4.5. Sementara untuk contoh pemilihan segmen *mooring lines* dan *material properties* pada software *Ariane 8* dijelaskan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

**Tabel 4.5** *Mooring lines Properties*

Nama Segmen	Panjang	Diameter	Tipe Material
<i>Bottom Chain</i>	500 m	122 mm	R3 studless
<i>Wire Rope</i>	905 m	98 mm	Spiral strand wire rope
<i>Top Chain</i>	60 m	112 mm	R3 studless

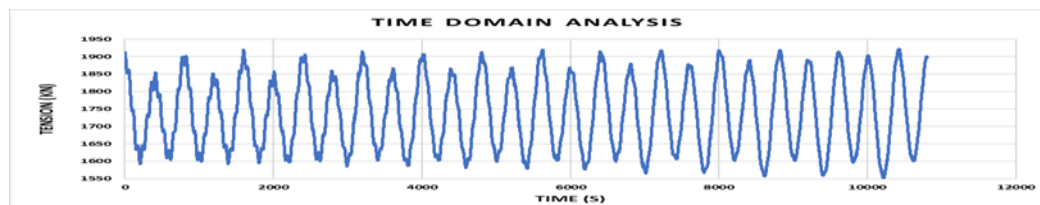
**Gambar 4.13** *Material properties bottom chain dan top chain*

**Gambar 4.14** *Material properties wire rope*

Parameter beban lingkungan yang dimasukkan dalam *software* untuk dianalisis adalah kedalaman perairan, tipe spektrum gelombang yang digunakan yaitu JONSWAP, tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), periode gelombang, *heading* (arah datang gelombang), kecepatan dan arah datang angin, kecepatan dan arah arus. Data beban lingkungan yang digunakan sesuai data yang tersedia yaitu dengan *metocean parameters* 200 tahunan di daerah perairan Masela.

#### 4.4 ANALISIS *TENSION MOORING LINES*

Analisis *tension* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa *tension* atau tegangan yang terjadi pada suatu konfigurasi *mooring lines* apabila menerima beban lingkungan untuk mempertahankan kedudukan struktur yang ditahannya. Untuk analisis ini, menggunakan analisa *time domain* atau analisis berbasis waktu selama 10.800 detik (3 jam), sesuai dengan ketentuan yang telah diatur oleh DNV OS-301 (2004). Analisis *tension* dilakukan dengan heading arah pembebanan  $0^\circ$ , hal ini dikarenakan *turret* bersifat *weathervaning* atau dengan kata lain apabila menerima pembebanan dari arah sisi maka FLNG akan berputar mengikuti arah pembebanan tersebut.



**Gambar 4.15** Contoh Grafik *Time Domain Analysis*

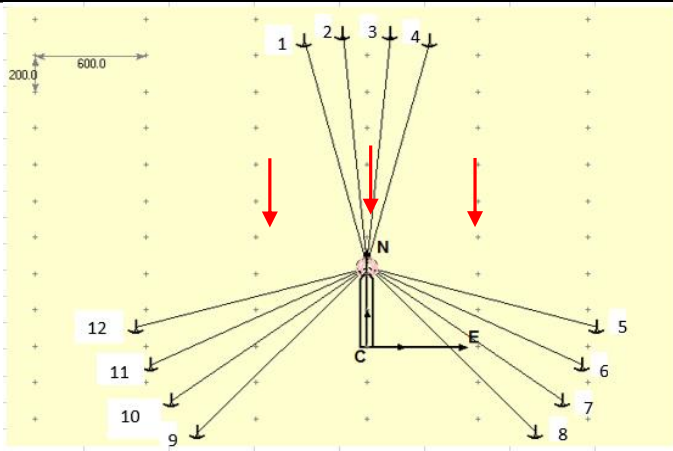
Sebelum melakukan analisa *time domain* untuk mencari nilai *tension* terbesar dari setiap *mooring line*, terlebih dulu dilakukan *pre-tension*. Sesuai ketentuan yang ditetapkan BV *Classification of Mooring Systems for Permanent and Mobile Offshore Units* (2015), besarnya *pre-tension* adalah 10% dari nilai MBL (*Minimum Breaking load*). MBL merupakan nilai *breaking strength* suatu material yang telah dijanjikan oleh pihak manufaktur, sehingga besarnya nilai MBL berbeda-beda tergantung dari jenis material yang digunakan. Diketahui nilai MBL pada analisis ini adalah 12689,7 kN sehingga didapatkan nilai *pre-tension* dari 10% MBL yang diketahui yaitu 1269 kN.



#### 4.4.1 Analisis *Tension* Konfigurasi 12 *Mooring lines*

Sesuai dengan skenario koordinat yang telah dibahas sebelumnya, sebelum melakukan *time domain analysis* dilakukan penentuan koordinat *anchoring* terlebih dahulu. Pada Tabel 4.6 dijelaskan Gambaran letak *anchoring* serta jarak *anchoring* menurut sumbu x dan sumbu y. Jarak *anchoring* adalah 1290 m dari *turret center line*.

**Tabel 4.6** Koordinat *anchoring* konfigurasi 12 *mooring lines*

Konfigurasi Mooring	ANCOR	EAST	NORTH
		X	Y
	1	-340.4	1244.276
	2	-128.7	1283.562
	3	128.7	1283.562
	4	340.4	1244.276
	5	1247.34	111.98
	6	1170.49	-99.09
	7	1060.23	-293.853
	8	916.908	-466.39
	9	-916.918	-466.39
	10	-1060.23	-293.853
	11	-1170.49	-99.09
	12	-1247.34	111.98

Selanjutnya dilakukan analisis berbasis waktu untuk mengetahui *tension* pada setiap tali tambat yang telah dimodelkan berurutan sesuai koordinat *ancor* dan mengikuti arah jarum jam seperti yang tertera pada Tabel 4.6. Nilai *tension* terbesar pada setiap tali tambat yang dimodelkan dapat dilihat pada Tabel 4.7

**Tabel 4.7** Nilai *tension* maksimal pada setiap tali tambat konfigurasi 12 *lines*

<i>Mooring lines</i>	Max. <i>Tension</i> (kN)	Minimum Breaking Load (MBL)	Safety Factor (SF) ABS	Safety Factor (SF) <i>Mooring line</i>	SF <i>Mooring line</i> > SF ABS
<i>Line 1</i>	1926.80	12689.7	1.67	6.586	Memenuhi
<i>Line 2</i>	1930.83	12689.7	1.67	6.572	Memenuhi
<i>Line 3</i>	1931.22	12689.7	1.67	6.571	Memenuhi
<i>Line 4</i>	1927.95	12689.7	1.67	6.582	Memenuhi
<i>Line 5</i>	1792.19	12689.7	1.67	7.081	Memenuhi
<i>Line 6</i>	1775.32	12689.7	1.67	7.148	Memenuhi
<i>Line 7</i>	1759.03	12689.7	1.67	7.214	Memenuhi
<i>Line 8</i>	1745.25	12689.7	1.67	7.271	Memenuhi
<i>Line 9</i>	1744.76	12689.7	1.67	7.273	Memenuhi
<i>Line 10</i>	1757.96	12689.7	1.67	7.218	Memenuhi
<i>Line 11</i>	1773.77	12689.7	1.67	7.154	Memenuhi
<i>Line 12</i>	1792.52	12689.7	1.67	7.079	Memenuhi

Dari Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa *tension* terbesar terjadi pada *line* 3 dengan sebesar 1931,22 kN. *Tension* dengan nilai besar didominasi oleh *line* 1 sampai dengan *line* 4, sedangkan untuk *line* 5 sampai dengan *line* 12 nilainya lebih kecil. Hal ini disebabkan karena pada pembebanan *heading*  $0^0$ , *mooring line* yang paling pertama terkena tegangan adalah *line* 1 hingga *line* 4 dan untuk *line* 5 hingga *line* 12 *tension*nya lebih stabil karena memiliki jumlah *mooring line* pada bagian kanan dan kiri yang seimbang.

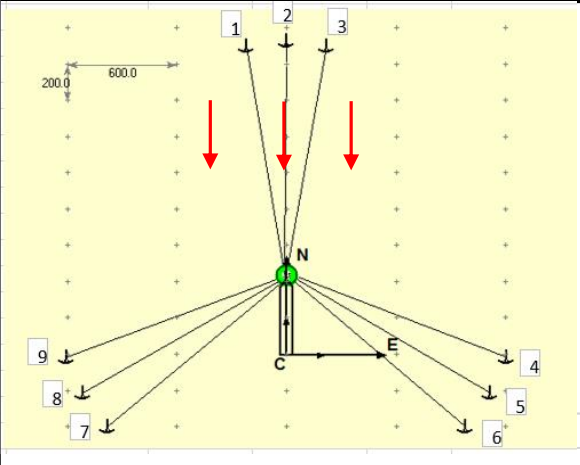
Batas *tesion* dari suatu material yang dijanjikan oleh pihak manufaktur diukur dengan nilai *minimum breaking load* (MBL). Diketahui, MBL untuk analisis ini adalah sebesar 12689,7. Selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk menentukan nilai *safety factor* yang didapatkan dengan cara membagi MBL dengan nilai *tension*. Nilai *safety factor mooring lines* harus memiliki nilai yang lebih besar dari nilai *safety factor* yang telah ditentukan ABS (2001), yaitu 1,67. Dengan begitu sesuai ketentuan yang ada maka *tension line* terbesar sudah memenuhi ketentuan *safety factor* menurut ABS (2001) yaitu sebesar  $6,571 > 1,67$ . Karena telah memenuhi kriteria maka analisis dapat dilanjutkan untuk menganalisa tegangan lokal pada *chain connector* dengan menggunakan tegangan tarik maksimum yang telah didapatkan dari pemodelan.

#### **4.4.2 Analisis *Tension* Konfigurasi 9 *Mooring lines***

Sama seperti analisis *tension 12 mooring lines*, pada analisis *tension 9 mooring lines* hal pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan *time domain analysis* adalah menentukan koordinat *anchor* pada *seabed*. Jarak *anchoring* adalah 1290 m dari *turret center line*. Koordinat pada *mooring lines* berjumlah 9 dijelaskan menurut sumbu x dan y pada Tabel 4.8.

Analisis kemudian dilanjutkan dengan analisis berbasis waktu (*time domain analysis*) untuk mengetahui nilai *tension* setiap *line* yang telah dimodelkan berurutan sesuai arah jarum jam seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.8. Hasil nilai *tension* pada konfigurasi 9 *lines* dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.8** Koordinat *anchoring* konfigurasi 9 *mooring lines*

Konfigurasi Mooring	ANCOR	EAST	NORTH
		X	Y
	1	-216.707	1265.25
	2	0	1290
	3	216.707	1706.25
	4	1205.21	-449.757
	5	1112.19	-651.717
	6	979.43	-833.975
	7	-979.43	-833.975
	8	-1112.19	-651.717
	9	-1205.21	-449.757

**Tabel 4.9** Nilai *tension* maksimal pada setiap tali tambat konfigurasi 9 *lines*

Mooring Lines	Max. Tension (kN)	Minimum Breaking Load (MBL)	Safety Factor (SF) ABS	Safety Factor (SF) Mooring Line	SF Mooring Line > SF ABS
Line 1	3600.68	12689.7	1.67	3.524	Memenuhi
Line 2	3691.29	12689.7	1.67	3.438	Memenuhi
Line 3	3624.75	12689.7	1.67	3.501	Memenuhi
Line 4	2867.50	12689.7	1.67	4.425	Memenuhi
Line 5	2672.55	12689.7	1.67	4.748	Memenuhi
Line 6	2583.09	12689.7	1.67	4.913	Memenuhi
Line 7	2561.82	12689.7	1.67	4.953	Memenuhi
Line 8	2654.52	12689.7	1.67	4.780	Memenuhi
Line 9	2871.77	12689.7	1.67	4.419	Memenuhi

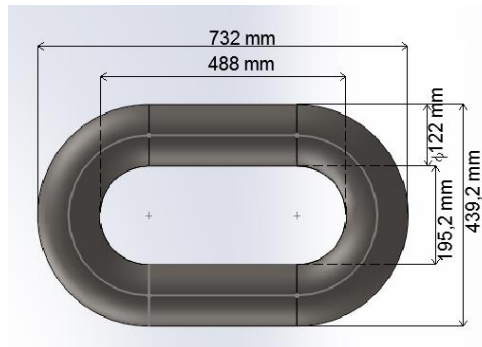
Dapat ditarik kesimpulan dari Tabel 4.9 bahwa dengan perbedaan jumlah *mooring lines* yang lebih sedikit, maka akan berpengaruh dengan naiknya nilai *tension* pada setiap *mooring lines*. Pada analisis *tension* konfigurasi 9 *lines* nilai *tension* terbesar terjadi pada line 2 yaitu dengan nilai 3691,29 kN. Nilai tersebut lebih besar dari *tension* terbesar pada konfigurasi 12 *lines* yang hanya bernilai 1931,22 kN. Karena *heading* arah pembebanan adalah  $0^0$  maka nilai *tension* besar didominasi oleh line 1 sampai dengan line 3 sedangkan untuk line 4 sampai dengan line 9 nilainya lebih rendah pada konfigurasi 9 *mooring lines* ini.

Untuk mengetahui nilai *safety factor* dapat dilakukan dengan cara yang sama yaitu dengan cara membagi nilai *Minimum Breaking Load* (MBL) dengan nilai *tension* masing-masing *line*. Setelah dilakukan perhitungan, dapat diketahui bahwa kesemua nilai *tension* pada 9 *mooring lines* masih memenuhi ketentuan *safety*

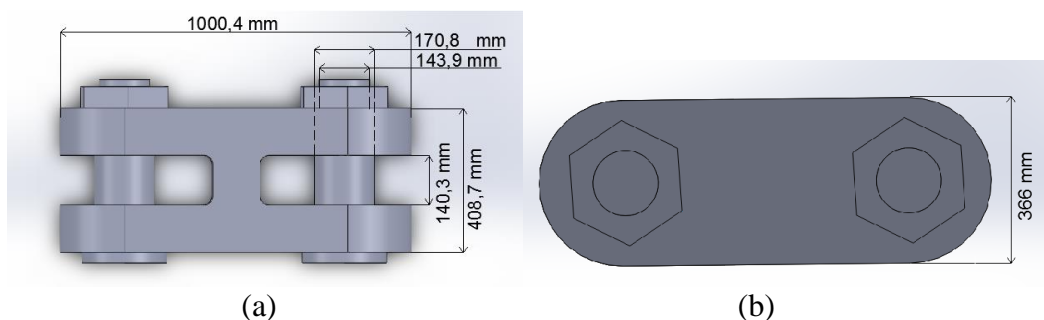
*factor* yang ditetapkan dari ABS (2001) yaitu lebih besar dari 1,67. Maka dari itu, nilai *tension* terbesar pada 9 *lines* dapat digunakan sebagai data yang valid untuk analisis lokal tegangan pada *chain connector*.

#### 4.5 PEMODELAN STRUKTUR *CHAIN CONNECTOR* DAN *CHAIN*

Pemodelan struktur *chain connector* dan *chain* diperlukan sebagai bahan *input* untuk analisa *Finite Element Method* (FEM) untuk mencari tegangan lokal. Dengan bantuan *software Solidwork* akan didesain ukuran dan dimensi *structure* tersebut yang sebisa mungkin mewakili keadaan aslinya. Acuan ukuran desain mengacu pada faktor diameter *chain* dimana nantinya setiap ukuran dimensi yang telah tertera pada data yang ada akan dikalikan dengan diameter *chain*. Diameter *chain* yang dipakai pada analisis ini adalah sebesar 122mm. Dimensi dari *chain* yang dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 4.16. Sedangkan untuk ukuran dimensi *chain connector* dijelaskan pada Gambar 4.17.



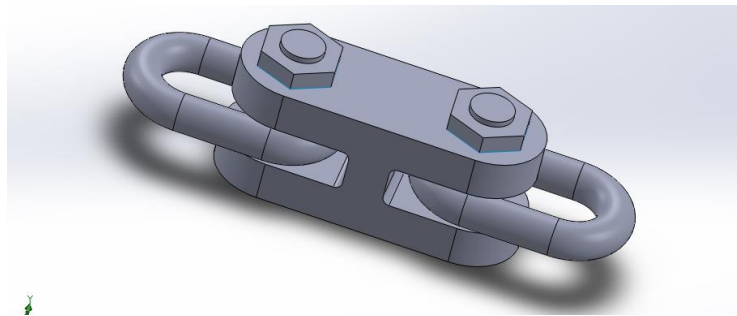
**Gambar 4.16** Dimensi *chain studless commonlink*



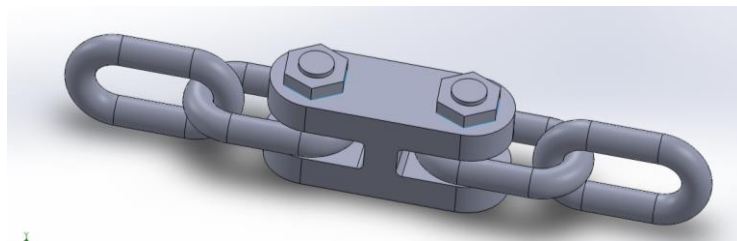
**Gambar 4.17** Dimensi *chain connector* (a) tampak depan (b) tampak samping

Analisis tegangan lokal akan dilakukan dengan cara menarik struktur *chain connector* tanpa *chain* dan juga struktur *chain connector* dengan *chain* yang divariasikan berjumlah satu pasang dan dua pasang. Gambar 4.18 akan menjelaskan visualisasi *chain connector* yang ditarik dengan variasi *chain*

berjumlah satu pasang. Sedangkan Gambar 4.18 menjelaskan *chain connector* yang ditarik dengan variasi *chain* berjumlah dua pasang.



**Gambar 4.18** *Chain connector* dengan variasi satu pasang *chains*

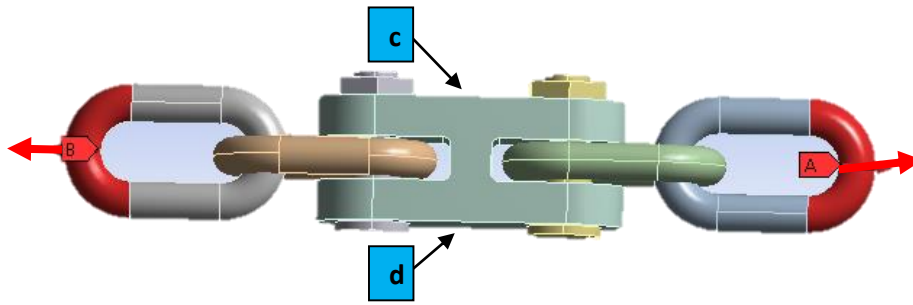


**Gambar 4.19** *Chain connector* dengan variasi dua pasang *chains*

#### 4.6 ANALISIS KEKUATAN LOKAL *CHAIN CONNECTOR*

Analisis kekuatan lokal pada *chain connector* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui *stress* yang terjadi pada struktur *chain connector* akibat menerima *tension* dari *mooring line* pada saat beroperasi. Langkah awal analisis adalah dengan mengimport bentuk geometri yang sebelumnya sudah dimodelkan pada *Solidwork*. Kemudian penentuan properti material yang digunakan pada struktur. Penentuan properti material perlu diperhatikan karena jenis material yang berbeda akan memberikan hasil yang berbeda pula pada kekuatan struktur.

Langkah selanjutnya adalah analisa *boundary condition* pada struktur yang dimodelkan. Salah satu contoh *boundary condition* pada struktur jelaskan pada Gambar 4.20. Pada Gambar 4.20, daerah a dan b merupakan titik letak dan arah pembebanan, dengan besar gaya pembebanan yang dikenakan adalah besarnya nilai *tension* yang telah didapatkan sebelumnya yaitu 1931,22 kN pada konfigurasi 12 *mooring lines*, dan 3691,29 kN pada konfigurasi 9 *mooring lines*. Sedangkan pada titik c dan d diberikan tumpuan roll yang memungkinkan tumpuan bergeser secara horizontal

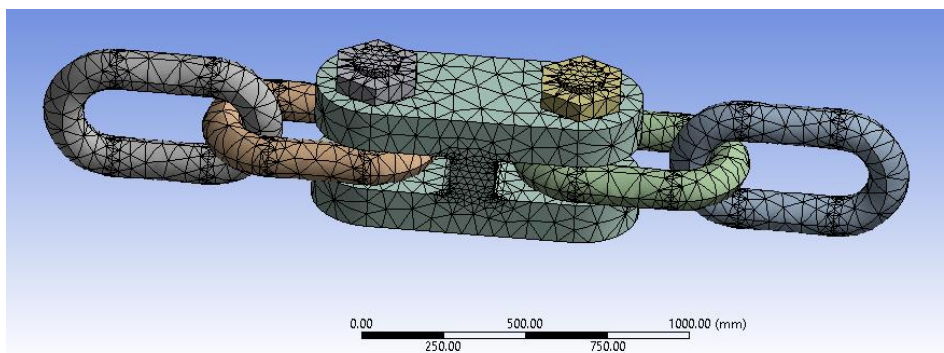


**Gambar 4.20** Contoh *boundary Condition* pada *chain connector*

#### 4.6.1 Analisis *Meshing* dan *Sensitivity*

Proses pembagian sebuah benda ke dalam beberapa bagian kecil untuk dianalisa disebut dengan *meshing*. *Meshing* adalah bagian dari analisis *Finite Element Method* (FEM) yang merupakan prosedur numeris yang biasanya dipakai untuk menyelesaikan masalah dalam bidang rekayasa teknik, seperti dalam halnya kasus ini dipakai untuk menganalisa tegangan atau *stress* pada suatu struktur yang rumit. Sedangkan analisis *sensitivity* digunakan untuk mengetahui apakah tegangan yang dihasilkan pada pemodelan sudah mendekati nilai kebenaran. Analisis *sensitivity* dilakukan dengan memvariasikan kerapatan *meshing* yang dibandingkan dengan nilai tegangan *equivalent* (*equivalent stress*) atau yang dapat disebut juga dengan *Von-Misses Stress* setelah benda tersebut menerima *force*.

*Meshing* dilakukan dalam beberapa variasi jumlah elemen hingga didapatkan nilai *sensitivity* yang konstan. Apabila nilai sudah konstan, maka dapat dikatakan bahwa nilai *Von-Misses Stress* yang dihasilkan adalah nilai *stress* yang sebenarnya dalam struktur tersebut. Setiap bentuk struktur yang berbeda akan memiliki kerapatan dan jumlah elemen yang berbeda pula. Gambar 4.21 merupakan salah satu contoh bentuk *meshing* pada struktur yang dimodelkan. Bentuk bagian-bagian kecil yang terbentuk menyesuaikan dengan keadaan bentuk struktur yang dianalisis, pada analisis kali ini berbentuk segitiga yang saling berhubungan atau disebut dengan *Triangular Finite Element*. Jenis elemen yang digunakan pada analisis ini adalah elemen solid, karena benda yang dimodelkan berbentuk padatan atau sebuah benda pejal yang tidak memiliki rongga didalamnya.



**Gambar 4.21** Contoh *meshing* yang digunakan dalam analisis

Hasil dari *meshing sensitivity* disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui tingkat kekonstanan *stress* yang dihasilkan dengan jumlah *meshing* yang berbeda. Grafik merupakan visualisasi dari nilai yang tertera pada tabel dengan, sumbu x merupakan tipe *meshing* berdasarkan jumlah element yang berbeda, sedangkan sumbu y merupakan besarnya *stress* yang dihasilkan pada keseluruhan struktur yang dimodelkan dalam analisis sehingga dapat dilihat bentuk kekonstanannya. Berikut ini merupakan analisis dari hasil *meshing sensitivity* dari struktur *chain connector* tanpa *chain* dan *chain connector* yang disambungkan dengan variasi *chain* berjumlah 1 pasang dan 2 pasang pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan *force* yang diberikan sebesar 1931,22 kN.

- **Konfigurasi 12 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain***

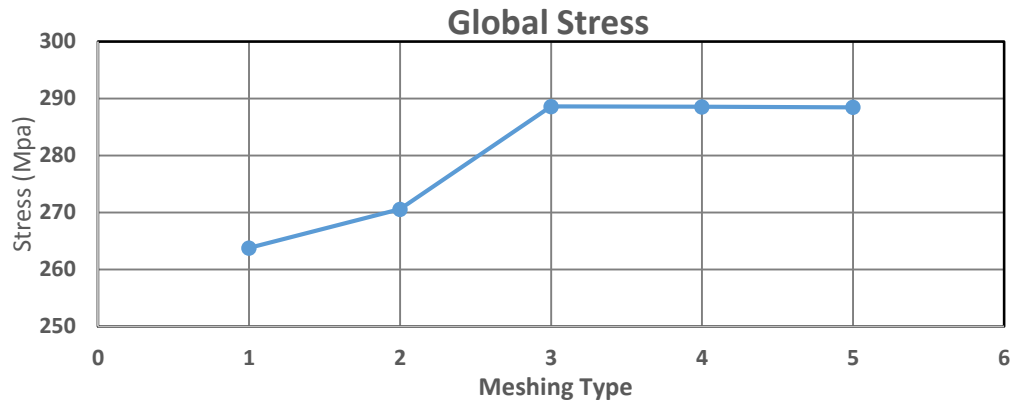
Tabel 4.10 dan Gambar 4.22 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada konfigurasi 12 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain*.

**Tabel 4.10** *Meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 12 *mooring line*, *chain connector* tanpa *chain*.

<b>Chain Connector tanpa chain</b>		
<b>Meshing Type</b>	<b>Jumlah Element</b>	<b>Global Stress (MPa)</b>
1	13764	263.78
2	13656	270.57
3	13529	288.6
4	13390	288.56
5	13376	288.45

Diketahui dari Tabel 4.10 nilai *stress* pada *chain connector* tanpa *chain* nilai *stress* sudah mulai konstan pada *meshing type* 3 dengan jumlah *meshing* sebanyak 13529 dan nilai *stress* sebesar 288.6 MPa, hingga *type* 5 dengan jumlah *meshing* sebanyak 13376 dan nilai *stress* 288.45 MPa yang dapat dilihat pada Gambar 4.22.

Sehingga digunakan *meshing* diantara *meshing type* 3 dan *type* 5 yaitu *type* 4 dengan jumlah element sebanyak 13390 dan nilai *stress* sebesar 288.56 MPa sebagai bahan untuk analisis selanjutnya.



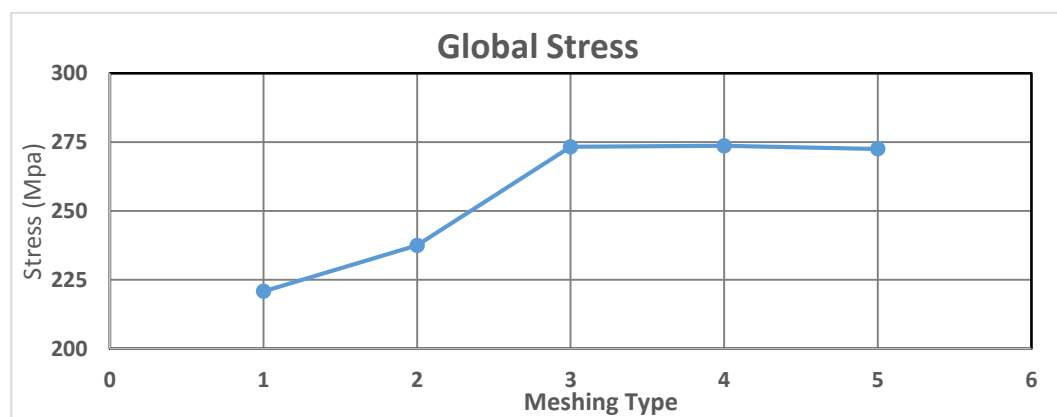
**Gambar 4.22** Grafik *meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 12 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain*.

- **Konfigurasi 12 *mooring lines*, variasi 1 pasang *chains*.**

Tabel 4.11 dan Gambar 4.23 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada konfigurasi 12 *mooring lines*, *chain connector* dengan variasi 1 pasang *chains*.

**Tabel 4.11** *Meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

1 Pasang Chain		
Meshing Type	Jumlah Element	Global Stress (MPa)
1	10660	220.82
2	10604	237.47
3	10589	273.65
4	10578	273.28
5	10312	272.55



**Gambar 4.23** Grafik *meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 12 *mooring lines* dengan variasi 1 pasang *chains*



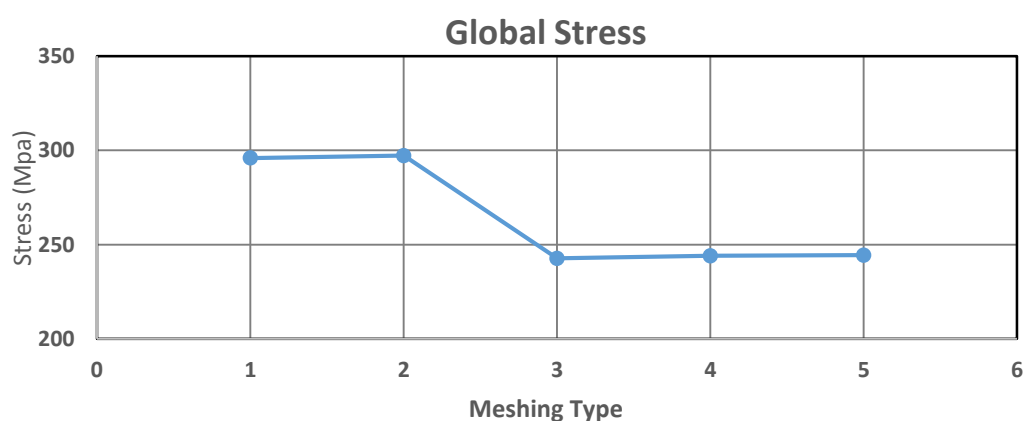
Dari Tabel 4.11 dapat dianalisis bahwa *meshing type* 1 memiliki jumlah element sebanyak 10660 dengan *stress* yang dihasilkan sebesar 220.82 MPa. Sedangkan *meshing type* dengan jumlah element sebanyak 10604 menghasilkan *stress* yang agak sedikit besar yg bernilai 237.47 MPa. Nilai tersebut lalu naik pada *meshing type* 3 dengan jumlah emelent sebanyak 10589 dan nilai *stress* sebesar 273.65 MPa. Nilai *stress* tersebut mulai stabil hingga *meshing type* 5 dengan jumlah element sebanyak 10312 dengan nilai *stress* 272.55 MPa yang dapat dilihat pada Gambar 4.23. Sehingga digunakan *meshing* diantara *meshing type* 3 dan *type* 5 yaitu *type* 4 dengan jumlah element sebanyak 10578 dan nilai *stress* sebesar 273.28 MPa sebagai bahan untuk analisis selanjutnya.

- **Konfigurasi 12 mooring lines, variasi 2 pasang chains.**

Tabel 4.12 dan Gambar 4.24 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada konfigurasi 12 *mooring lines*, *chain connector* dengan variasi 2 pasang *chains*.

**Tabel 4.12** *Meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan variasi 2 pasang *chains*

2 Pasang Chain		
Meshing Type	Jumlah Element	Global Stress (MPa)
1	15551	295.92
2	14273	297.18
3	14225	242.67
4	14241	244.01
5	14065	244.34



**Gambar 4.24** Grafik *meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 12 *mooring lines* dengan variasi 2 pasang *chains*

Diketahui dari Tabel 4.12 nilai *stress* pada variasi *chain* berjumlah 2 pasang lebih kecil dibanding dengan nilai *stress* pada variasi *chain* berjumlah 1 pasang.

Dapat dilihat bahwa nilai *stress* sudah mulai konstan pada *meshing type* 3 dengan jumlah *meshing* sebanyak 14225 dan nilai *stress* sebesar 242.67 MPa, hingga *type* 5 dengan jumlah *meshing* sebanyak 14065 dan nilai *stress* 244.34 MPa yang dapat dilihat pada Gambar 4.24. Sehingga digunakan *meshing* diantara *meshing type* 3 dan *type* 5 yaitu *type* 4 dengan jumlah element sebanyak 14241 dan nilai *stress* sebesar 244.01 MPa sebagai bahan untuk analisis selanjutnya.

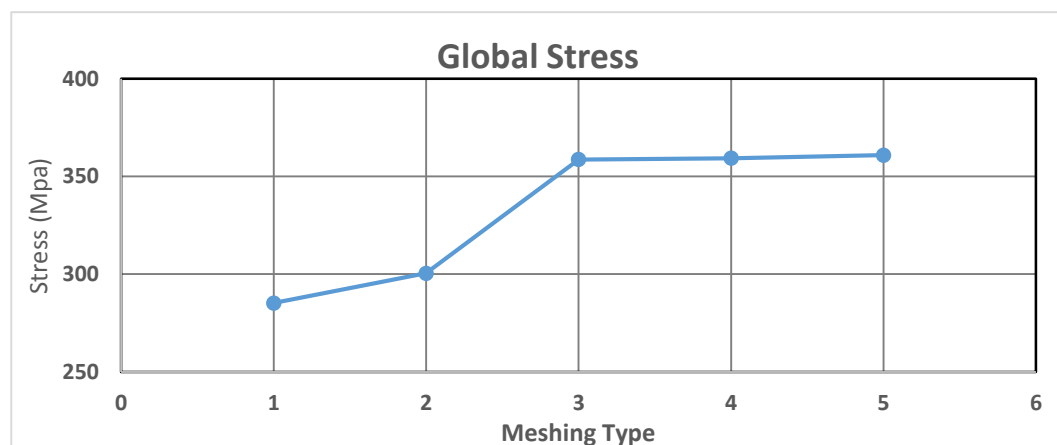
Sedangkan *meshing sensitivity* untuk konfigurasi 9 *mooring line* dengan pembebanan yang diberikan sebesar 3691,29 kN pada struktur *chain connector* tanpa *chain* dan *chain connector* yang disambungkan dengan variasi *chain* berjumlah 1 pasang dan 2 pasang adalah sebagai berikut ini.

- **Konfigurasi 9 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain***

Tabel 4.13 dan Gambar 4.25 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada konfigurasi 9 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain*.

**Tabel 4.13** *Meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 9 *mooring line*, *chain connector* tanpa *chain*.

<i>Chain Connector</i> tanpa <i>chain</i>		
Meshing Type	Jumlah Element	Global Stress (MPa)
1	13764	285.2
2	13656	300.45
3	13529	358.67
4	13390	359.33
5	13376	360.88



**Gambar 4.25** Grafik *meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 9 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain*.

Pada Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa nilai *stress* sudah mulai konstan pada *meshing type* 3 dengan jumlah *meshing* sebanyak 13529 dan nilai *stress* sebesar

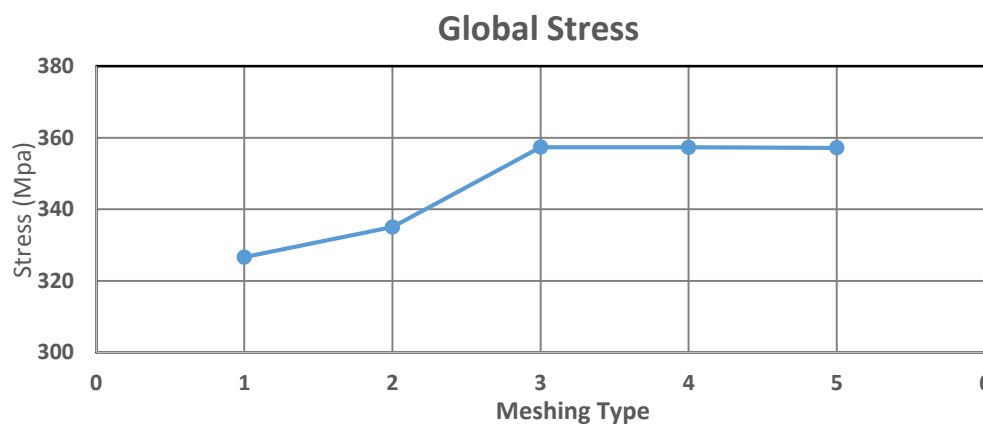
358.67 MPa, hingga *type* 5 dengan jumlah *meshing* sebanyak 13376 dan nilai *stress* 360.88 MPa yang dapat dilihat pada Gambar 4.25. Sehingga digunakan *meshing* diantara *meshing type* 3 dan *type* 5 yaitu *type* 4 dengan jumlah element sebanyak 13390 dan nilai *stress* sebesar 359.33 MPa sebagai bahan untuk analisis selanjutnya.

- **Konfigurasi 9 mooring lines, variasi 1 pasang chains.**

Tabel 4.14 dan Gambar 4.26 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada konfigurasi 9 *mooring lines*, *chain connector* dengan variasi 1 pasang *chains*.

**Tabel 4.14** *Meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

1 Pasang Chain		
Meshing Type	Jumlah Element	Global Stress (MPa)
1	10660	326.62
2	10604	335.02
3	10589	357.36
4	10578	357.3
5	10312	357.17



**Gambar 4.26** Grafik *meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 9 *mooring lines* dengan variasi 1 pasang *chains*

Dari Tabel 4.14 dapat dianalisis bahwa *stress* pada konfigurasi 9 *Mooring line* dengan variasi 1 pasang *chain* nilainya lebih besar dibandingkan dengan *stress* pada konfigurasi 12 *Mooring line* dengan variasi 1 pasang *chain*, walaupun memiliki jumlah element yang sama. *Meshing sensitivity* mulai konstan pada *meshing type* 3 hingga *type* 5 yang dapat dilihat pada Gambar 4.26. Nilai *stress* pada *meshing type* 3 adalah 357.36 kN dan nilai *stress* pada *type* 5 adalah 357.17 kN. Sehingga nilai yang digunakan untuk analisis selanjutnya adalah nilai *meshing*

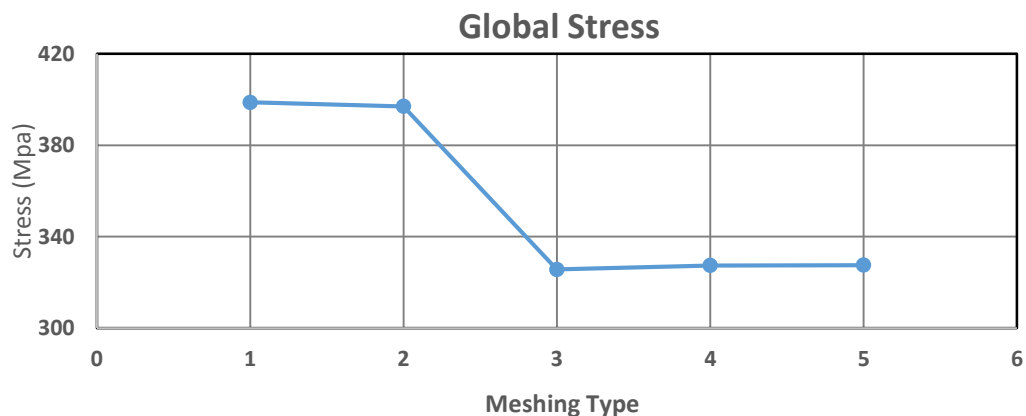
diantara dua tersebut yaitu *meshing type* 4 dengan jumlah element 10578 dan nilai *stress* sebesar 357.3 kN.

- **Konfigurasi 9 mooring lines, variasi 2 pasang chains.**

Tabel 4.15 dan Gambar 4.27 merupakan hasil *meshing sensitivity* pada konfigurasi 9 *mooring lines*, *chain connector* dengan variasi 2 pasang *chains*.

**Tabel 4.15** *Meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 2 pasang *chain*

2 Pasang Chain		
Meshing Type	Jumlah Element	Global Stress (MPa)
1	15551	398.75
2	14273	397.05
3	14225	325.7
4	14241	327.41
5	14065	327.54



**Gambar 4.27** Grafik *meshing sensitivity* struktur pada konfigurasi 9 *mooring lines* dengan variasi 2 pasang *chains*

Pada Tabel 4.15 dapat diketahui bahwa besarnya nilai *stress* pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 2 pasang *chain* lebih besar dibanding dengan *stress* pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan variasi 2 pasang *chain*. Dari Gambar 4.27 dapat dilihat jika besarnya *stress* mulai konstan pada *meshing type* 3 dengan besar 325.7 kN hingga *type* 5 dengan besar nilai *stress* 327.54 kN. Sehingga diambil nilai *meshing* diantara dua *type* tersebut yaitu *meshing type* 4 dengan jumlah element sebanyak 14241 dan *stress* sebesar 327.41 kN untuk dijadikan bahan analisis selanjutnya dalam tugas akhir ini.

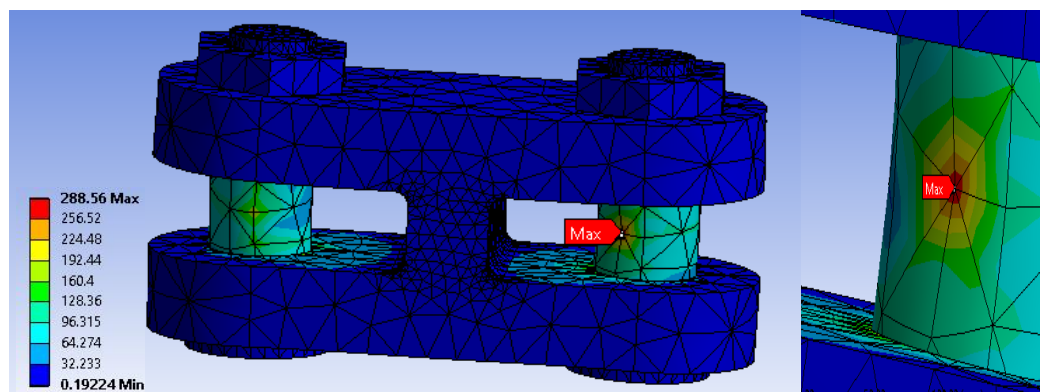
#### 4.6.2 Analisis Tegangan *Von-Mises* dan Deformasi

Setelah dilakukan analisis *meshing* dan *sensitivity* tahapan selanjutnya dalam pemodelan *Finite Element Method* (FEM) adalah melakukan *running* tegangan *von-mises*. Dari hasil *running* dapat diketahui hasil dan letak tegangan *von-mises* maksimum terjadi. Dari tegangan *von-mises* juga inilah yang nantinya dapat disimpulkan apakah struktur *chain connector* kuat atau tidak menerima beban *tension*. Selain itu, dari hasil *running* juga dapat diketahui nilai deformasi. Deformasi adalah bentuk transformasi sebuah benda dari kondisi semula ke kondisi terkini yang disebabkan oleh gaya eksternal, internal, maupun perubahan temperature dalam benda. Dengan kata lain pada analisis kali ini, struktur akan mengalami deformasi (perubahan bentuk) apabila mengalami *stress* akibat gaya external yang dikenakan. Deformasi terjadi karena struktur yang dianalisis tidak sepenuhnya merupakan benda yang kaku (*rigid*) dan masih memiliki sifat elastis.

##### 4.6.2.1 Analisis Reaksi *Chain Connector* tanpa *Chain*

Analisis dilakukan dengan memodelkan struktur *chain connector* saja yang kemudian diberikan beban berupa nilai *tension* terbesar dari konfigurasi 12 *mooring line* sebesar 1931.22 kN, dan konfigurasi 9 *mooring line* sebesar 3691.29 kN.

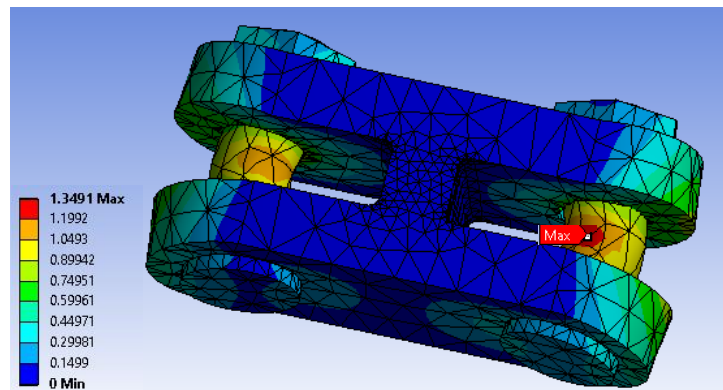
- Konfigurasi 12 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain*



**Gambar 4.28** *Von mises stress* struktur *chain connector* tanpa *chain* pada pada konfigurasi 12 *mooring lines*

Gambar 4.28 merupakan gambaran tegangan *von-mises* yang dihasilkan setelah dikenakan beban *tension* maksimal 12 *Mooring Lines*. Tegangan *von-mises* terbesar terjadi pada bagian baut yang menjadi lokasi pembebanan. Besarnya tegangan *von-mises* maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 288.56 MPa, dan

yang terkecil adalah 0.192 MPa. Diketahui material penyusun *chain connector* beserta dengan *chain*-nya memiliki grade R3, dimana sesuai dengan *Offshore Standard DNV-OS-E302 “Offshore Mooring Chain”* (2008) *yield strength* materialnya adalah sebesar 410 Mpa. Sementara ketentuan ABS “*Safegul-Dynamic Loading Approach for FPSO System*” (2001) disebutkan bahwa batas maksimal tegangan *von-mises* dari suatu material adalah sebesar 90% dari *yield strength* material tersebut, dimana dalam analisis ini besarnya adalah 369 MPa. Berdasarkan ketentuan tersebut maka dapat dikatakan bahwa struktur yang dimodelkan aman untuk beroperasi karena tegangan *von-mises* yang dihasilkan lebih kecil nilainya dari 90% *yield strength* material yang digunakan.

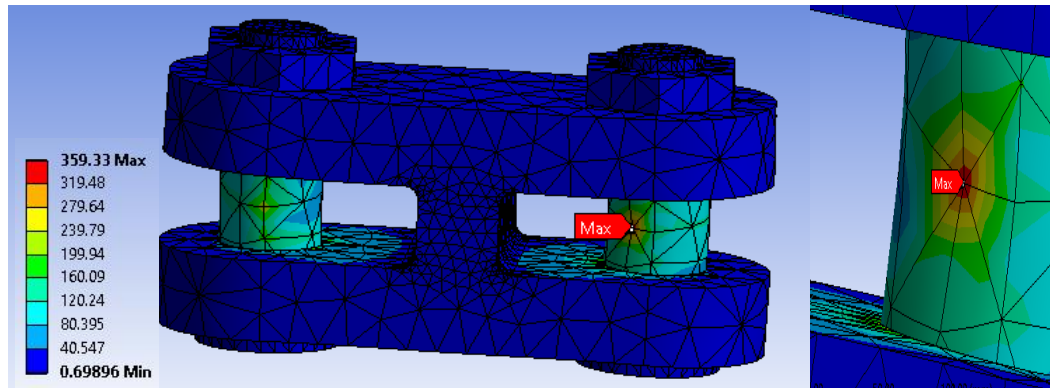


**Gambar 4.29** Deformasi struktur *chain connector* tanpa *chain* pada pada konfigurasi 12 *mooring lines*

Deformasi yang terjadi pada struktur *chain connector* tanpa *chain* pada pada konfigurasi 12 *mooring lines* dapat dilihat pada Gambar 4.29. Nilai deformasi maksimal yang dihasilkan adalah sebesar 1.349 mm yang terjadi pada bagian baut *chain connector*. Sementara nilai minimum yang terjadi adalah sebesar 0 mm atau dapat dikatakan tidak terjadi deformasi.

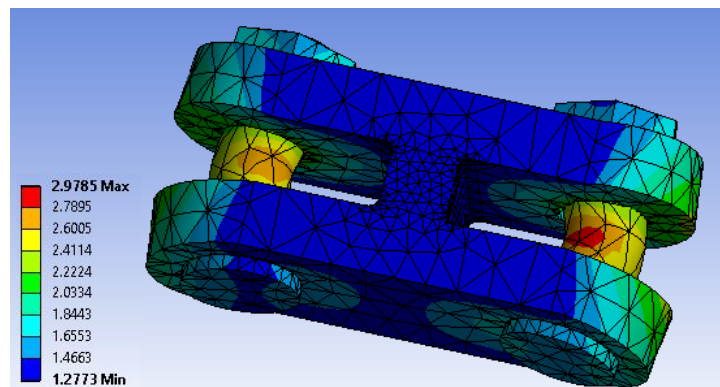
- Konfigurasi 9 *mooring lines*, *chain connector* tanpa *chain*

Gambar 4.30 merupakan hasil tegangan *von-mises* yang terjadi pada struktur *chain connector* tanpa *chain* yang dimodelkan setelah terkena beban *tension* maksimum yang dihasilkan dari 9 *Mooring Lines*. Nilai tegangan *von-mises* maksimum yang dihasilkan adalah sebesar 359.33 MPa yang terletak pada bagian baut *chain connector*. Nilai tersebut masih memenuhi ketentuan yang ditetapkan ABS (2001) yaitu masih dibawah 90% *yield strength* material atau masih dibawah 369 MPa.



**Gambar 4.30** Von mises stress struktur *chain connector* tanpa *chain* pada pada konfigurasi 9 *mooring lines*

Sementara deformasi yang terjadi pada struktur dapat dilihat pada Gambar 4.31. Nilai deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar 2.98 mm yang terjadi pada bagian baut dari *chain connector* yang juga merupakan posisi letak pembebanan. Sementara nilai minimum yang dihasilkan adalah sebesar 1.27 mm.



**Gambar 4.31** Deformasi struktur *chain connector* tanpa *chain* pada pada konfigurasi 9 *mooring lines*

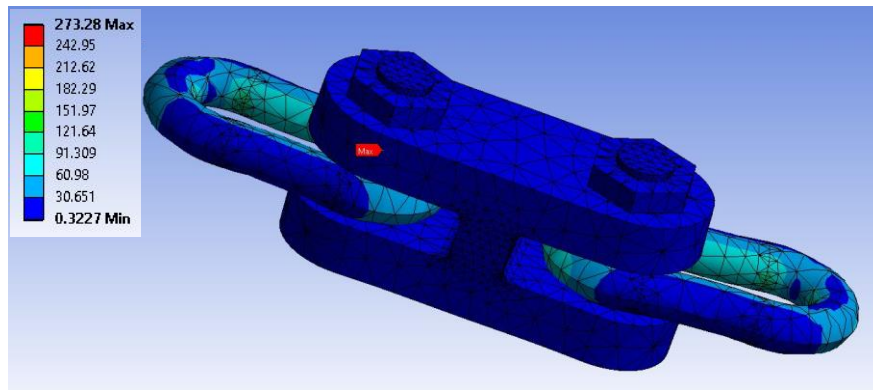
#### 4.6.2.1 Analisis Reaksi *Chain Connector* dengan Variasi *Chain*

Analisis dilakukan dengan cara pemodelan struktur berupa *chain connector* yang ditarik dengan variasi *chain* berjumlah 1 pasang dan 2 pasang. Pembebanan yang dilakukan juga sama yaitu 1931,22 kN dari hasil analisis *tension* konfigurasi 12 *mooring line*, dan 3691,29 kN dari hasil analisis *tension* konfigurasi 9 *mooring line*.

Berikut merupakan hasil *running* tegangan *von-mises* untuk mengetahui *stress* lokal yang terjadi pada struktur *chain connector* yang disambungkan dengan variasi *chain* berjumlah 1 pasang dan 2 pasang pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan pembebanan yang diberikan sebesar 1931,22 kN.

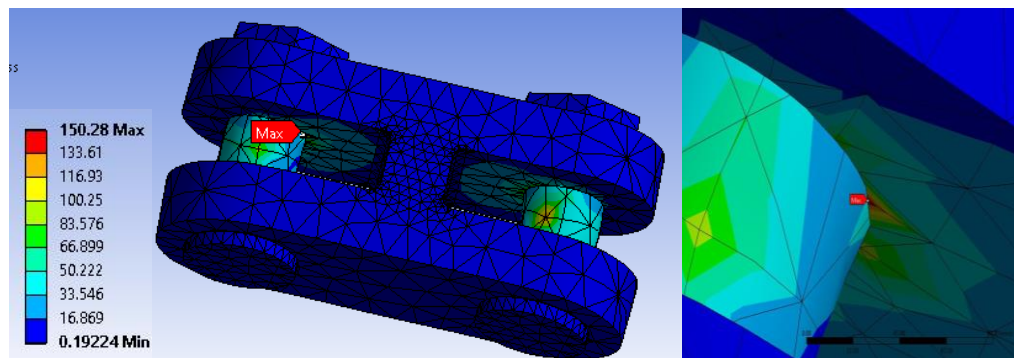


- Konfigurasi 12 *mooring lines*, variasi 1 pasang *chains*.



**Gambar 4.32** *Global von mises stress* struktur pada pada konfigurasi 12 *mooring lines* dengan variasi 1 pasang *chains*

Gambar 4.32 merupakan hasil dari *global von-mises stress* keseluruhan struktur *chain connector* dengan variasi 1 pasang *chains* setelah dikenakan beban *tension*. Hasil tegangan terbesar yang didapatkan adalah sebesar 273.28 MPa. Nilai tegangan tersebut masih memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh ABS (2001) yaitu masih dibawah 90% *yield strength* material atau tegangan *von-mises* yang terjadi masih dibawah 369 MPa.



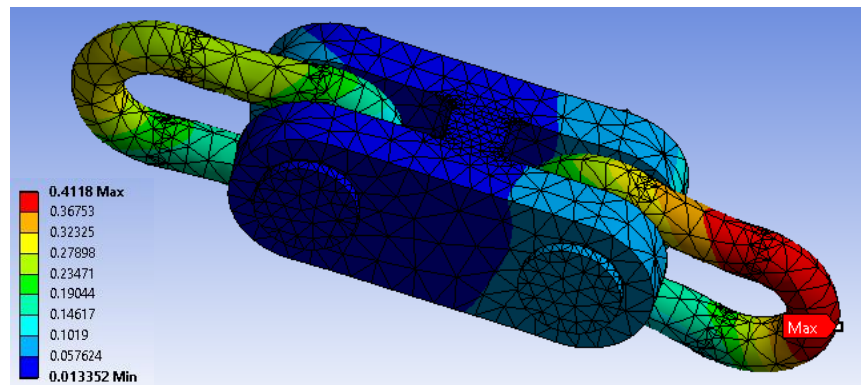
**Gambar 4.33** *Local stress chain connector* pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

Analisis tegangan lokal pada *chain connector* disajikan pada Gambar 4.33. Diketahui dari hasil *running*, tegangan *von-mises* terbesar yang terjadi hanya pada *chain connector*-nya saja adalah sebesar 150,28 MPa dan terletak pada sambungan antara baut dan badan *chain connector*. Nilai tersebut juga dikatakan aman karena masih dibawah dari 90% nilai *yield strength* material. Letak *stress* maksimum terjadi pada daerah sekitar sambungan antara baut dengan badan *chain connector*.

Deformasi global maksimal yang terjadi pada keseluruhan struktur adalah sebesar 0,411 mm yang terjadi pada ujung struktur. Sementara nilai minimum yang



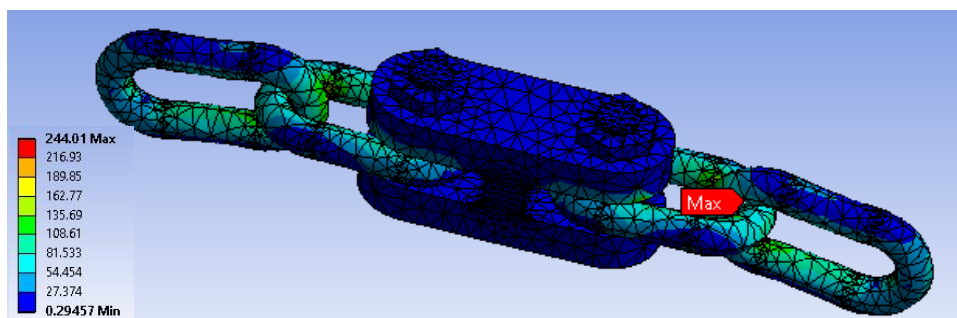
terjadi adalah sebesar 0,013 mm. Hasil deformasi global tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.34 berikut ini.



**Gambar 4.34** Deformasi global struktur pada pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

- Konfigurasi 12 *mooring lines*, variasi 2 pasang *chains*.

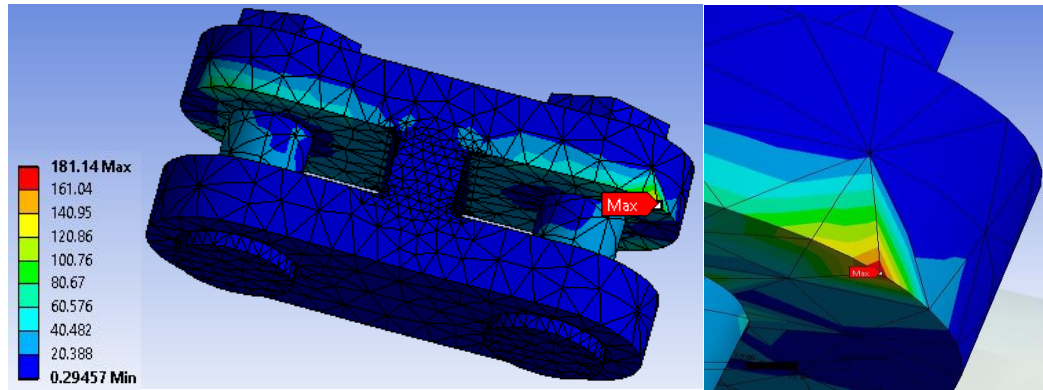
Gambar 4.35 merupakan hasil *running* untuk mengetahui *von-mises stress* maksimal yang terjadi pada keseluruhan struktur dengan variasi 2 pasang *chain*. *Von-mises stress* maksimal yang dihasilkan adalah sebesar 244,01 MPa dan terletak pada sambungan antar rantai. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan analisis sebelumnya yaitu struktur *chain connector* dengan 1 pasang *chain* pada konfigurasi 12 *mooring line*. Hal ini disebabkan karena beban yang ditumpu oleh keseluruhan struktur terdistribusi dengan semakin bertambahnya jumlah rantai. Sesuai dengan ketentuan ABS yang telah disebutkan sebelumnya, nilai *stress* yang dihasilkan tidak boleh melebihi nilai 90% *yield strength* material yang digunakan yaitu 369 MPa. Berdasarkan hal tersebut maka, struktur masih dikatakan aman untuk beroperasi.



**Gambar 4.35** *Global von-mises stress* struktur pada pada konfigurasi 12 *mooring line* dengan variasi 2 pasang *chains*

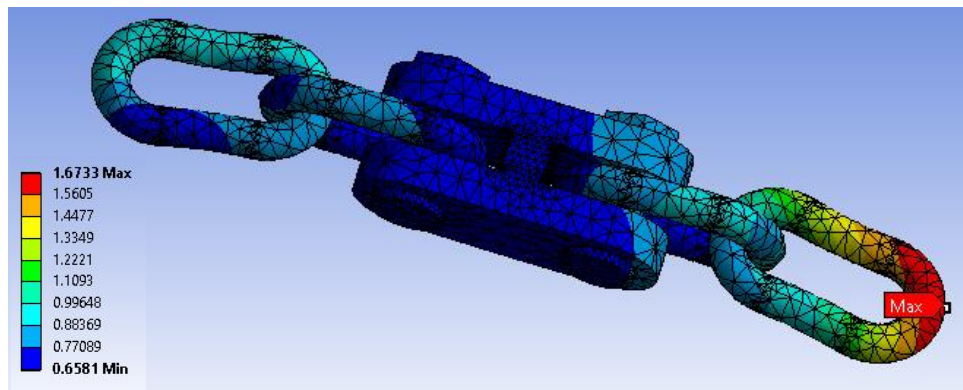
Sementara *local von-mises stress* maksimum yang terjadi pada *chain connectornya* saja dijelaskan pada Gambar 4.36. Nilai tegangan *von-mises*

maksimum yang terjadi adalah sebesar 181,14 MPa dan terletak pada ujung badan *chain connector*. Sesuai dengan ketentuan ABS yang mengatakan bahwa nilai *von-mises stress* tidak boleh melebihi 90% nilai *yield strength* maka dapat dikatakan bahwa struktur aman untuk dioperasikan.



**Gambar 4.36** Local stress chain connector pada konfigurasi 12 mooring line dengan 2 pasang chains

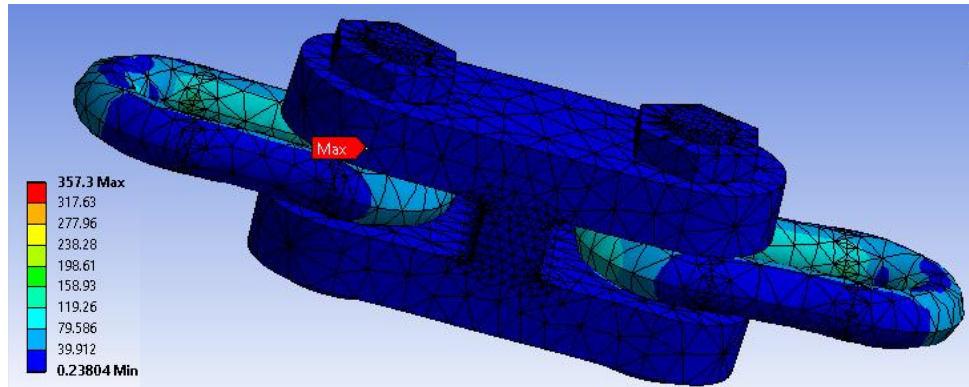
Berdasarkan Gambar 4.37 deformasi global maksimum yang terjadi pada keseluruhan struktur adalah sebesar 1,673 mm dan terletak pada ujung chain. Sedangkan nilai minimumnya adalah sebesar 0,658.



**Gambar 4.37** Deformasi global struktur pada konfigurasi 12 mooring line dengan 2 pasang chains

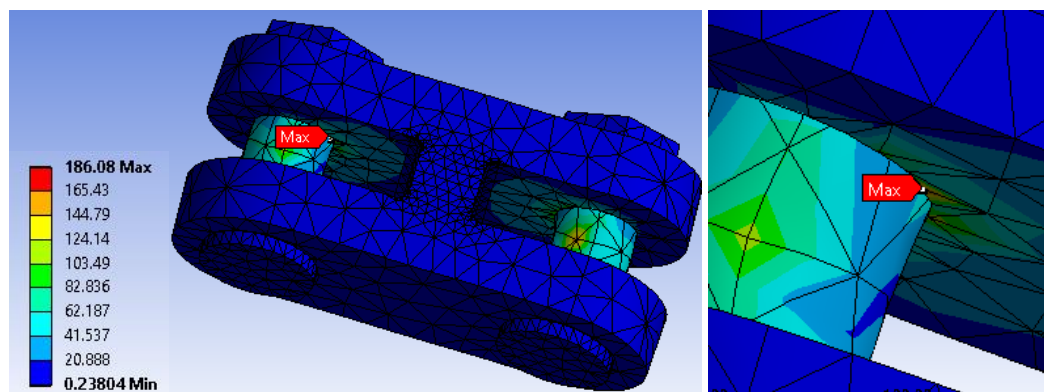
Hasil *running* tegangan *von-mises* untuk mengetahui *stress* lokal yang terjadi pada struktur *chain connector* yang disambungkan dengan variasi *chain* berjumlah 1 pasang dan 2 pasang, pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan pembebanan yang diberikan sebesar 3691,29 kN adalah sebagai berikut.

- Konfigurasi 9 *mooring lines*, variasi 1 pasang *chains*.



**Gambar 4.38** *Global von-mises stress* struktur pada pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

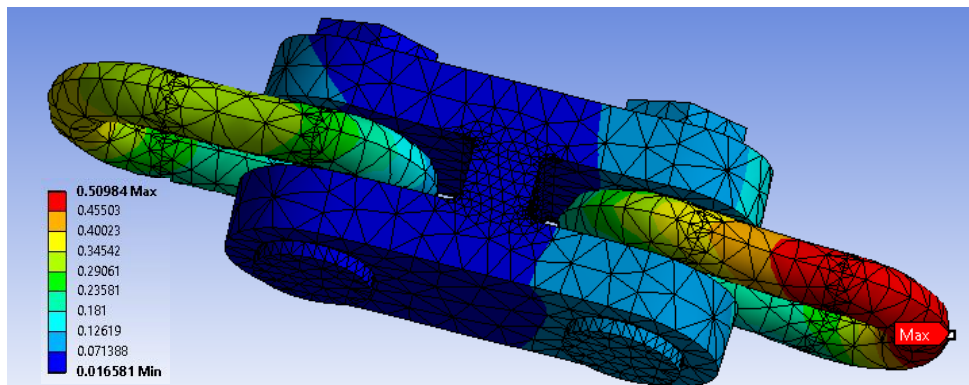
Besarnya *von-mises stress* yang terjadi berbanding lurus dengan besarnya pembebanan yang diberikan kepada suatu struktur. Jadi tentu saja *von-mises stress chain connector* yang terjadi pada konfigurasi 9 *mooring lines* ini lebih besar dibanding *von-mises stress chain connector* yang terjadi pada konfigurasi 12 *mooring lines*. Dapat dilihat pada Gambar 4.38 besarnya *global von-mises stress* maksimal yang ditinjau dari keseluruhan struktur yang dimodelkan adalah sebesar 357,2 MPa. Nilai tersebut masih dikatakan memenuhi karena masih dibawah ketentuan dari ABS yaitu nilai *von-mises stress* harus kurang dari 90% nilai *yield strength* atau sebesar 369 MPa. Maka dapat disimpulkan bahwa struktur *chain connector* dengan variasi 1 pasang *chains* masih aman untuk digunakan.



**Gambar 4.39** *Local stress chain connector* pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

Sementara *von-mises stress* lokal maksimal yang terjadi pada *chain connector*-nya saja adalah sebesar 186,08 MPa. Berdasarkan Gambar 4.39, *von-mises stress* terbesar terjadi pada daerah sambungan antara baut dengan badan *chain connector*.

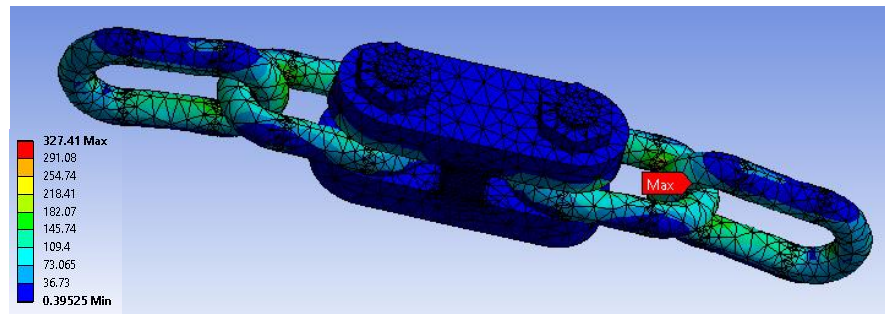
Besarnya nilai *von-mises stress* maksimum tersebut juga masih memenuhi ketentuan ABS karena *von-mises stress* yang terjadi kurang dari 369 MPa.



**Gambar 4.40** Deformasi global struktur pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 1 pasang *chains*

Gambar 4.40 menjelaskan deformasi global maksimal yang terjadi pada struktur *chain connector* dengan variasi 1 pasang *chain* adalah sebesar 0,509 mm yang terletak pada ujung struktur, dan nilai minimum yang terjadi adalah sebesar 0,016 mm.

- Konfigurasi 9 *mooring lines*, variasi 2 pasang *chains*.

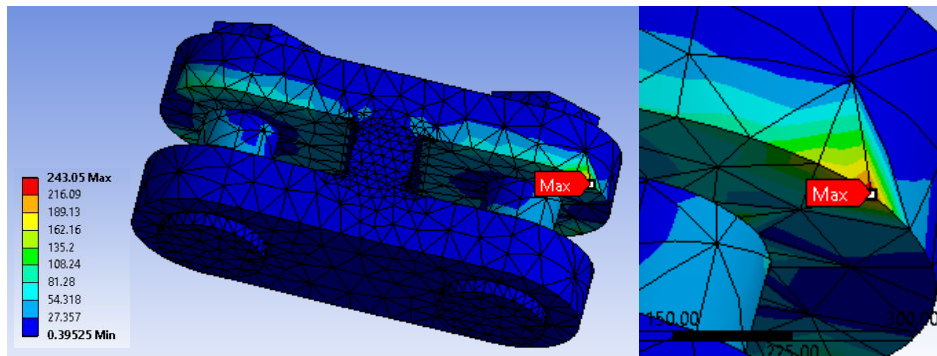


**Gambar 4.41** *Global von-mises stress* struktur pada konfigurasi 9 *mooring lines* dengan variasi 2 pasang *chains*

Dapat dianalisis dari Gambar 4.41 bahwa *global von-mises stress* maksimum struktur *chain connector* dengan variasi 2 pasang *chain* pada konfigurasi 9 *mooring lines* ini adalah sebesar 327,41 MPa. Tegangan maksimum tersebut terjadi pada sambungan antar *chain* seperti yang bisa dilihat pada Gambar 4.38. Nilai tersebut masih dikatakan aman dan memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh ABS yaitu *von-mises stress* yang terjadi pada suatu struktur harus kurang dari 90% besar *yield strength* atau pada analisis kali ini nilainya adalah sebesar 369 MPa.

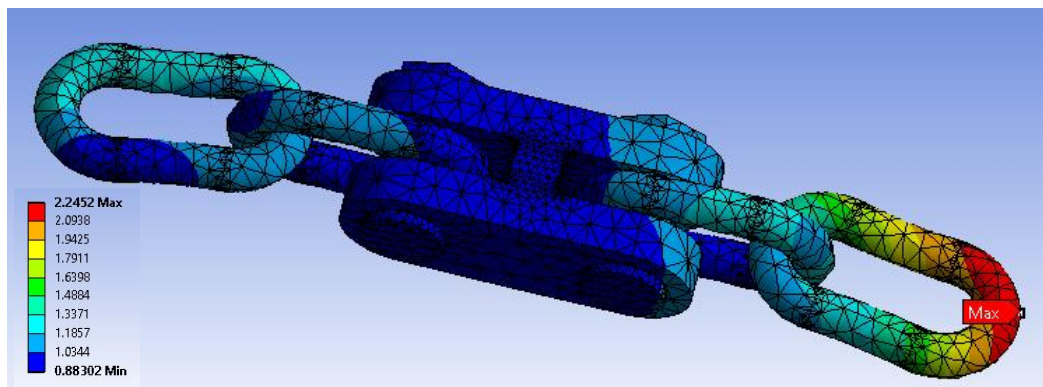


Nilai *von-mises stress* yang terjadi pada struktur *chain connector* dengan variasi 2 pasang *chains*, lebih kecil dibandingkan dengan nilai *von-mises stress* struktur *chain connector* dengan variasi 1 pasang *chains* pada konfigurasi 9 *mooring lines* ini. Hal ini membuktikan bahwa dengan semakin bertambahnya jumlah rantai yang dikenakan maka beban akan semakin terdistribusi di sepanjang untaian rantai.



**Gambar 4.42** Local stress chain connector pada konfigurasi 9 *Mooring line* dengan variasi 2 pasang *chains*

Tegangan *von-mises* lokal yang bernilai maksimum terjadi pada struktur *chain connector* adalah sebesar 243,05 MPa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.42. Besarnya tegangan masih dikatakan aman karena 243,05 MPa bernilai lebih kecil dari 90% *yield strength* material atau sebesar 369 MPa sesuai ketentuan yang ditetapkan oleh ABS. Tegangan *von-mises* maksimum tersebut terjadi pada ujung badan *chain connector*.



**Gambar 4.43** Deformasi global struktur pada konfigurasi 9 *mooring line* dengan variasi 2 pasang *chains*

Nilai deformasi global maksimum yang terjadi pada struktur yang dimodelkan seperti pada Gambar 4.43 adalah sebesar 2,24 mm yang terletak pada ujung struktur. Sementara nilai deformasi global minimum yang terjadi adalah sebesar 0,88 mm yang ditandai dengan warna biru tua.

Pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 akan dijelaskan rangkuman dan kesimpulan analisis kekuatan struktur sesuai analisis FEM yang telah dilakukan. Hasil analisis yang disajikan adalah berupa tegangan *von-mises* global dan lokal yang terjadi pada struktur *chain connector* tanpa *chain* maupun dengan variasi *chain* beserta nilai deformasi yang terjadi.

**Tabel 4.16** Rangkuman nilai tegangan *von-mises* dan deformasi pada konfigurasi 12 *mooring lines*

Konfigurasi 12 Mooring Lines				
Output		Tanpa Chain	1 Pasang Chains	2 Pasang Chains
Von-Mises Stress Global (Mpa)	Max	288.56	273.28	244.01
	Min	0.192	0.322	0.294
Von-Mises Stress Local (Mpa)	Max	-	150.28	181.14
	Min	-	0.192	0.294
Deformasi Global (mm)	Max	1.349	0.411	1.673
	Min	0	0.013	0.658

Dari Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa pada konfigurasi 12 *mooring lines*, kesemua pemodelan baik *chain connector* tanpa *chain* maupun dengan variasi 1 pasang *chains* dan variasi 2 pasang *chains*, tegangan *von-mises* maksimum yang terjadi telah memenuhi ketentuan ABS “*Safehul-Dynamic Loading Approach for FPSO System*” (2001) yaitu tegangan *von-mises* pada suatu struktur dibawah 90% *yield strength material*. *Yield strength material* yang digunakan pada analisis kali ini adalah bernilai 410 MPa dan 90% nilainya adalah sebesar 369 MPa. Dengan begitu struktur *chain connector* dengan variasi jumlah *chain* yang dikenakan padanya dinyatakan aman dan kuat untuk beroperasi.

**Tabel 4.17** Rangkuman nilai tegangan *von-mises* dan deformasi pada konfigurasi 9 *mooring lines*

Konfigurasi 9 Mooring Lines				
Output		Tanpa Chain	1 Pasang Chains	2 Pasang Chains
Von-Mises Stress Global (Mpa)	Max	359.22	357.3	327.41
	Min	0.698	0.238	0.395
Von-Mises Stress Local (Mpa)	Max	-	186.08	243.05
	Min	-	0.238	0.395
Deformasi Global (mm)	Max	2.97	0.509	2.245
	Min	1.277	0.016	0.88

Sementara Tabel 4.17 menjelaskan bahwa pada konfigurasi 9 *mooring lines*, pemodelan *chain connector* tanpa *chain* maupun dengan variasi 1 pasang *chains* dan variasi 2 pasang *chains*, kesemua tegangan *von-mises* maksimum yang

terjadi pada struktur tersebut juga masih memenuhi ketentuan dari ABS (2001) karena nilainya tidak melampaui 90% *yield strength* atau sebesar 369 MPa.

Baik pada konfigurasi 12 *mooring line* dan 9 *mooring line*, besarnya nilai tegangan maksimum yang terjadi semakin mengecil seiring dengan bertambahnya variasi *chain* yang dikenakan. Analisis *local von-mises* pada variasi *chain*, membuktikan bahwa beban *tension* akan terdistribusi di sepanjang *mooring line* dan meringkankan beban pada *chain connector*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *stress* pada *chain connector* yang lebih kecil apabila dimodelkan dengan variasi *chain* dibandingkan dengan pemodelan *chain connector* tanpa *chain*.

Sedangkan untuk nilai deformasi, sesuai dengan ketentuan DNV-OS-E302 “*Offshore Mooring Chain*” (2008), toleransi perubahan dimensi (deformasi) pada struktur tidak boleh melebihi 5% dari nominal diameter atau apabila diameter struktur berkisar antara 121-160 mm maka toleransi perubahan diameternya adalah 0-4 mm. Sehingga dapat dikatakan keseluruhan deformasi yang terjadi pada struktur masih didalam batas aman. Begitu pula dengan kekuatan lokal *chain connector* yang terletak pada *mooring line* masih dinyatakan kuat dan aman apabila digunakan dan dioperasikan pada FLNG Masela baik dengan konfigurasi 12 maupun 9 *mooring lines*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari hasil analisis sejumlah pemodelan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari analisa respon gerak FLNG Masela pada saat kondisi terapung bebas (*free floating*), RAO dengan nilai terbesar pada mode gerak transional untuk gerakan *surge* adalah 0,989 m/m, gerakan *sway* adalah 0,985 m/m, dan gerakan *heave* adalah 1,277 m/m. Sedangkan pada mode gerak rotasional nilai RAO terbesar gerakan *pitch* adalah 0,669 deg/m, gerakan *roll* adalah 1,245 deg/m, dan gerakan *yaw* adalah 0,231 deg/m.
2. Analisis *tension mooring* dengan simulasi *time domain* selama 10.800 detik (3 jam) menghasilkan *tension* terbesar pada konfigurasi 12 *mooring lines* sebesar 1931,22 kN yang terjadi pada *line 3*. Sementara pada konfigurasi 9 *mooring lines*, *tension* terbesar terjadi pada *line 2* dengan nilai 3691,29 kN. *Tension* terbesar tersebut terjadi karena *line 3* dan *line 2* termasuk ke dalam grup *mooring lines* yang paling pertama dan paling dominan terkena pembebanan secara terus menerus, dibandingkan dengan grup *mooring lines* lainnya. Namun nilai *tension* terbesar tersebut masih dibawah batas *safety factor* yang ditentukan oleh ABS karena, hasil bagi nilai MBL dengan nilai *tension* terbesar masih diatas 1,67.
3. Dari hasil analisis pemodelan lokal *chain connector*, diketahui bahwa beban *tension* akan terdistribusi seiring dengan bertambahnya jumlah variasi *chain* yang dikenakan pada *chain connector*. Hal ini dibuktikan dengan nilai *von-mises stress* yang terjadi pada *chain connector* tanpa *chain* lebih besar dibandingkan dengan *chain connector* dengan variasi *chain*. *Von-mises stress* maksimum konfigurasi 12 *mooring lines* adalah 288,56 MPa dengan deformasi sebesar 1,349 mm dan konfigurasi 9 *mooring lines* adalah 359,22 MPa dengan deformasi sebesar 2,97 mm. Sedangkan dengan variasi 1 pasang *chain*, *local von-mises stress* maksimum pada *chain connector* konfigurasi 12 *mooring lines* adalah 150,28 MPa dan

konfigurasi 9 *mooring lines* adalah 186,08 MPa. Pada variasi 2 pasang *chain*, *local von-mises stress* maksimum pada *chain connector* konfigurasi 12 *mooring lines* adalah 181,14MPa dan konfigurasi 9 *mooring lines* adalah 243,05 MPa. Nilai deformasi terbesar terjadi pada analisis *chain connector* tanpa *chain* pada konfigurasi 9 *mooring lines* dengan nilai 2,97 mm. Namun, semua nilai *stress* yang terjadi pada struktur *chain connector* dinyatakan aman karena tegangan *von-mises* maksimum yang terjadi tidak melebihi 90% dari *yield strength material* atau tidak melebihi 369 MPa. Begitu pula dengan nilai deformasi yang terjadi masih dikatakan aman karena tidak melebihi 5% dari nominal diameter atau nilai toleransi perubahan dimensinya hanya boleh berkisar antara 0-4 mm. Sesuai kenyataan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka struktur *chain connector* yang terletak pada *mooring line* masih dinyatakan kuat dan aman apabila digunakan dan dioperasikan pada FLNG Masela baik dengan konfigurasi 12 maupun 9 *mooring lines*.

## 5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan untuk lebih menyempurnakan tugas akhir ini diantaranya adalah :

1. Perlu dilakukannya analisis mengenai *fatigue life* untuk mengetahui umur kelelahan dari struktur *chain connector*.
2. Dapat dilaukan analisis kekuatan struktur *chain connector* pada saat kondisi *damage*.
3. Dapat dilakukan analisis kekuatan struktur *chain connector* apabila mengalami korosi dengan nilai tertentu.
4. Dapat dianalisis mengenai *tension mooring* FLNG apabila dengan memodelkan *riser* dan *umbillicals system*.
5. Dapat dilakukan analisis tentang *tension mooring line* dan kekuatan *chain connector* pada saat FLNG berada pada kondisi *ballast* dan juga *half-load*.

## DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2SK. 1996. *“Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures”*, Washington, DC.
- API RP 2SM. 2014. *“Design, Manufacture, Installation, and Maintenance of Synthetic Fiber Ropes for Offshore Mooring”*, Washington, DC.
- API RP 2P. 1987. *“Analysis of Spread Mooring System for Floating Drilling Units”*. Washington, DC.
- ABS. 2001. *“Safehull-Dynamic Loading Approach’ for Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) Installations”*, USA: American Bureau of Shipping. ABS Plaza.
- ABS. 2004. *“Guide for Building and Classing Floating Production Installations”*, USA: American Bureau of Shipping. Shipping ABS Plaza.
- ABS. 2012. *“Mobile Offshore Drilling Unit (MODU)”*, USA: American Bureau of Shipping. ABS Plaza.
- Bhattacharyya. R.. 1978. *“Dynamics of Marine Vehicles”*, New York: John Wiley & Sons Inc.
- Bungawardani, D, 2007. *“Analisa Perilaku Dinamis FPSO Dengan Sistem External Turret Mooring”*, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- BV. 2015. *“Classification of Mooring Systems for Permanent and Mobile Offshore Units”*. Bureau Veritas. Paris
- BV. 2015. *“HydroSTAR v7.25 for Experts User Manual”*, Bureu Veritas, Paris
- BV. 2015. *“Ariane 8 User Manual”*, Bureu Veritas, Paris
- Chakrabarti, S. K.. 1987. *“Hydrodynamics of Offshore Structure”*, Computational Mechanics Publication Southampton, Boston, USA.
- Chen, X.. 2011. *“Offshore Hydrodynamics and Applications”*, The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering Vol.4, No.3, Aug., pp.124-142.
- Daffa, T.R.. 2016. *“Studi Komparasi Perilaku Gerak FLNG Masela Terhadap Internal Turret Mooring System dan Exernal Turret Mooring System”*. Surabaya. ITS.

- Djarmiko, E.B.. 2012. “*Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*”, ITS Press, Surabaya, Indonesia.
- DNV OS-E301. 2004. “*Position Mooring*”, Det Norske Veritas, Norway.
- DNV OS-E302. 2008. “*Offshore Mooring Chain*”, Det Norske Veritas, Norway.
- DNV RP-E305. 2015. “*Design, Testing and Analysis of Offshore Fibre Ropes*”, Det Norske Veritas, Norway.
- DNV RP C205. 2010. “*Environmental Conditions and Environmental Loads*”, Det Norske Veritas, Norway.
- England, Duggal, and Queen. 2001. “*A Comparison Between Turret and Spread Moored F(P)SOs for Deepwater Field Development*”. USA: Deepwater Offshore Technology.
- Irawati. 2013. Analisis Tegangan Lokal Konstruksi Windlass Pada Bow Fso Akibat Pengaruh Modifikasi Sistem Offloading, Surabaya: ITS.
- Kusumawardhani, H.T.. 2011. ”*Analisa Resiko Pada Mooring Line SPM (Single Point Mooring ) Akibat Beban Kelelahan*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Nopian, R.. 2016. “*Analisis Kekuatan pada Konstruksi Bolder FSO Ladinda Akibat Pengaruh Tandem Offloading Process*”. Surabaya. ITS.
- OCIMF. 1992. “*Mooring Equipment Guidelines*”, UK
- Pratt Jr, M.J. 1993. “*Marine mooring swivel fitting*’. USA : 113 Whiskers La., Litchfield, Conn. 06759
- Popov, E. P.. 1996. “*Mekanika Teknik*”, Jakarta: Erlangga.
- Rizkiarsa, E.E.. 2016. “*Analisa Kekuatan Lokal Swivel pada Spread Mooring system untuk FPSO*”, Surabaya. ITS.
- Sabziyan, Ghassemi, and Kazemi. 2014. “*Effect of Mooring Lines Pattern in a Semi-submersible Platform at Surge and Sway movements*”. Iran: Journal of Ocean Research, Vol.2, No.1,17-22.
- Setyawan. W., 2012. “*Analisa Kekuatan Chain Line pada Mooring Sistem Akibat Konversi Motor Tanker Menjadi Mooring Storage Tanker*”, Surabaya: ITS.

# LAMPIRAN A

## *INPUT SOFTWARE*

### 1. *INPUT SOFTWARE HydroSTAR*

#### 1.1 Pemodelan Hull FLNG (.hull)

<pre> Format 4 410 70 56  -45 7  0 6 0 8 6 0 8 14.7 0 28.4 14.7 0 29.531 15.618 0 30 16.3 0 30 36 0  -44 7  0 6 0 8 6 0 8 14.376 0 31.398 14.376 0 27.53 14.845 0 32.998 15.976 0 32.998 36 0  -43 7  0 6 0 8 6 0 8 14.049 0 32.398 14.049 0 33.529 14.518 0 33.998 15.649 0 33.998 36 0  -42 7  0 6 0 8 6 0 </pre>	<pre> 8 13.723 0 32.982 13.723 0 34.114 14.192 0 34.582 15.323 0 34.582 36 0  -40 7  0 6 0 8 6 0 8 13.069 0 33.4 13.069 0 34.531 13.538 0 35 14.465 0 35 36 0  -35 7  0 6 0 8 6 0 8 11.44 0 8 11.44 0 33.426 11.44 0 34.77 12.226 0 35 13.013 0 35 36 0  -30 7  0 6 0 8 6 0 8 9.805 0 33.451 9.805 0 34.778 10.591 0 35 11.337 0 </pre>
---	---

35	36	0			
			-5	7	
			0	0	0
-25	7		8	0	0
0	6	0	8	1.638	0
8	6	0	33.4	1.638	0
8	8.166	0	34.531	2.11	0
33.414	8.166	0	35	3.242	0
34.779	8.959	0	35	36	0
35	9.476	0			
35	36	0			
			0	5	
			0	0	0
-20	7		33.4	0	0
0	0	0	34.531	0.468	0
8	0	0	35	1.575	0
8	6.533	0	35	36	0
33.425	6.533	0			
34.777	7.319	0			
35	8.106	0	5	5	
35	36	0	0	0	0
			33.4	0	0
			34.531	0.468	0
-15	7		35	1.575	0
0	0	0	35	36	0
8	0	0			
8	4.907	0	10	5	
33.339	4.907	0	0	0	0
34.784	5.712	0	33.4	0	0
35	6.512	0	34.531	0.468	0
35	36	0	35	1.575	0
			35	36	0
-10	7				
0	0	0	20	5	
8	0	0	0	0	0
8	3.271	0	33.4	0	0
33.4	3.271	0	34.531	0.468	0
34.785	4.075	0	35	1.575	0
35	4.875	0	35	36	0
35	36	0			

30	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

40	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

50	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

50	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

60	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

90	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

100	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

110	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

110	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

			120	5	
			0	0	0
70	5		33.4	0	0
0	0	0	34.531	0.468	0
33.4	0	0	35	1.575	0
34.531	0.468	0	35	36	0
35	1.575	0			
35	36	0			
			130	5	
			0	0	0
80	5		33.4	0	0
0	0	0	34.531	0.468	0
35	1.575	0			
35	36	0			
			190	5	
			0	0	0
140	5		33.4	0	0
0	0	0	34.531	0.468	0
33.4	0	0	35	1.575	0
34.531	0.468	0	35	36	0
35	1.575	0			
35	36	0			
			200	5	
			0	0	0
150	5		33.4	0	0
0	0	0	34.531	0.468	0
33.4	0	0	35	1.575	0
34.531	0.468	0	35	36	0
35	1.575	0			
35	36	0			
			210	5	
			0	0	0
160	5		33.4	0	0
0	0	0	34.531	0.468	0
33.4	0	0	35	1.575	0



34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

180	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

240	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

250	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

260	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

35	36	0
----	----	---

230	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

300	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

310	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

320	5	
0	0	0

270	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

280	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

290	5	
0	0	0
34.548	6.379	0
34.895	6.941	0
35	7.485	0
35	36	0

335	8	
0	0	0
21.6	0	0
22.391	0.226	0
22.687	0.452	0
34.566	12.331	0
34.898	12.866	0
35	13.4	0
35	36	0

340	8	
0	0	0
15.684	0	0
16.474	0.225	0
16.772	0.452	0
34.549	18.229	0

33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

325	5	
0	0	0
33.4	0	0
34.531	0.468	0
35	1.575	0
35	36	0

330	8	
0	0	0
27.515	0	0
28.314	0.23	0
28.612	0.461	0
9.209	4.502	0
9.728	4.849	0
29.029	24.151	0
29.38	24.708	0
29.48	25.264	0
29.48	36	0

355	8	
0	8.761	0
7.452	8.761	0
8.064	8.882	0
8.583	9.229	0
23.487	24.133	0
23.851	24.698	0
23.955	25.264	0
23.955	36	0

360	8	
0	13.142	0
6.308	13.142	0
6.921	13.263	0
7.44	13.61	0

34.879	18.735	0
35	19.24	0
35	36	0

17.962	24.133	0
18.326	24.698	0
18.43	25.264	0
18.43	36	0

345	8	
0	0	0
9.768	0	0
10.561	0.226	0
10.856	0.452	0
34.531	24.127	0
34.896	24.693	0
35	25.258	0
35	36	0

365	8	
0	17.885	0
5.524	17.885	0
6.137	18.006	0
6.656	18.353	0
12.431	24.13	0
12.777	24.65	0
12.899	25.264	0
12.899	36	

350	8	
0	0.4381	0
8.597	0.4381	0

## 1.2 Liniearisasi *Beam Damping* (.mcn)

```
FILENAME masela

#MASS_BODY          1          3.8378E8
GYRADIUS_BODY      1          23.8 105 105 0.0 0.0 0.0
COGPOINT_BODY      1          158.89 0.0 9.08

LINVISCOUSDAMPING1      5.0

WAVEAMPLITUDE      1.0

INERTIAL_MATRIX     TYPE  0
ENDINERTIAL_MATRIX

REFLENGTH          1.0
RHO                 1025.0
GRAVITY             9.81
REFWAVE             0.00  0.00
HYDSWPLANE

DAMPING_MATRIX      TYPE  0
ENDDAMPING_MATRIX

QDAMPING_MATRIX      TYPE  0
ENDQDAMPING_MATRIX

ENDFILE
```

## 1.3 Definisi *principal dimension* struktur bangunan apung (.mri)

```
test
HULF
4
test.hul
IXDEF
1
TYPF
2
330
TYFA
21
45
DRAUGHT
15.5
MPAR
75 25
ABOVE
36
ENDMR
```

### 1.3 Konstruksi *transfer function* (.rao)

```
FXF1ST FILE WFsurge.rao
FYF1ST FILE Wfsway.rao
FZF1ST FILE WFheave.rao
MXF1ST FILE WFroll.rao
MYF1ST FILE Wfpitch.rao
MZF1ST FILE WFyaw.rao

GSURGE  FILE      X1.rao  AMP      inFREQUENCY
GSWAY   FILE      X2.rao  AMP      inFREQUENCY
GHEAVE  FILE      X3.rao  AMP      inFREQUENCY
GROLL   FILE      X4.rao  AMP      inFREQUENCY
GPITCH  FILE      X5.rao  AMP      inFREQUENCY
GYAW    FILE      X6.rao  AMP      inFREQUENCY
AHEAVE  FILE      XX3.rao  AMP      inFREQUENCY
APITCH  FILE      XX6.rao  AMP      inFREQUENCY

CM       FILE      adm.rao  TERM 11 22 33 44 55
CA       FILE      rdm.rao  TERM 11 22 33 44 55
ARIANE7N MOM FILE database.dat

ENDFILE
```

### 1.4 Komputasi *radiation and diffraction* (.rdf)

```
FILENAME masela
```

```
FREQUENCES      TYPE      2

WMIN      0.1
WMAX      2.1
WSTP      0.1
```

```
ENDFREQUENCES
```

```
HEADINGS TYPE      2

HMIN      0.0
HMAX      180
HSTP      45.0
ENDHEADINGS
```

```
*NBFREQUENCY
```

```
*NBHEADING
```

```
WATERDEPTH      600
```

```
ENDFILE
```

## 2. INPUT SOFTWARE ARIANE 8

### 2.1 Input karakteristik hidrostatik FLNG dan loading case

Loadcase: HydroStar Mooring

Description of the loading case

Short name of the loading case: LoadingCase(1)

Title: Please enter a short description of the loading case

Vessel's data

Parameter	Value	Unit	Set from
Mean draft	15.1	m	
Displacement	3.63367e+006	m**3	Set from mass
Mass	3724511750.000	kg	Set from displacement
Yaw gyration radius	130.700	m	
xb	204.67	m	
yb	0	m	
kb	7.25	m	
xg	203.89	m	
yg	0	m	
kg	23.18	kg	

Loading components

Component	State	File
Hydrodynamics ( Radiation/Diffraction components )		
Added mass ( TDS )		
Low frequency ( LF and LF*WVF (S DOF) calculation )	Defined	database.dat Load
Infinite ( LF*WVF (S DOF) calculation )	Not defined	None Load
Radiation damping ( TDS LF*WVF (S DOF) calculation )	Defined	database.dat Load
Inertia ( TDS LF*WVF (S DOF) calculation )	Defined	database.dat Load
Hydrostatic stiffness ( TDS LF*WVF (S DOF) calculation )	Defined	database.dat Load
First order ( TDS )		
Motions (RAO) ( LF+WVF calculation )	Defined	database.dat Load
Loads ( LF*WVF (S DOF) calculation )	Defined	database.dat Load
Conversions ( Loads <-> Motions )	Defined	database.dat Load
Radiation added mass ( Needed for Loads <-> Motions conversions )	Defined	database.dat Load

### 2.2 Input material properties mooring lines

#### 2.2.1 Input material properties bottom chain

Line Name: Line(1)

Anchor -> 180.0 360.0 540.0 720.0 900.0 1080.0 1260.0 1440.0 <- Fairlead

Length: 1465m

Segment Name: Bottom Chain

Length of the segment: 500 m

Predefined Segment: 5.3 studless

Diameter: 0.122 m

Material properties

Parameter	Value	Unit
Mass in air per unit length	300.657	kg/m
Mass in water per unit length	261.361	kg/m
Friction coefficient	1.000	
Breaking load	11364.7	kN

Dynamic properties

Parameter	Value	Unit
Effective drag diameter	0.2196	m
Normal drag coef.	0.800	
Tangential drag coef.	0.000	
Normal inertia coef.	1.000	
Tangential added mass coef.	0.500	
Transverse friction coef.	0.500	
Proposed element length	1	m
Number of data points per element	5.000	

Elasticity properties

Elastic Curve

$T/BL = fct(d/I)$

Fit order: 4

Calculated coef. from datafile

Fatigue properties

Fatigue T-N curves:  $N/R^m = K$

R: Tension ratio ( $T/BL$ )

N: Cycle number

Parameter	Value
Coef. m	3.000
Coef. K	316.000

#### 2.2.2 Input material properties wire rope

Line Name: Line(1)

Anchor -> 180.0 360.0 540.0 720.0 900.0 1080.0 1260.0 1440.0 <- Fairlead

Length: 1465m

Segment Name: Wire Rope

Length of the segment: 905 m

Predefined Segment: Spiral strand wire rope

Diameter: 0.098 m

Material properties

Parameter	Value	Unit
Mass in air per unit length	50.2054	kg/m
Mass in water per unit length	39.984	kg/m
Friction coefficient	0.700	
Breaking load	8592.01	kN

Dynamic properties

Parameter	Value	Unit
Effective drag diameter	0.098	m
Normal drag coef.	0.700	
Tangential drag coef.	0.000	
Normal inertia coef.	1.000	
Tangential added mass coef.	0.000	
Transverse friction coef.	0.500	
Proposed element length	1	m
Number of data points per element	5.000	

Elasticity properties

Elastic Curve

$T/BL = fct(d/I)$

Fit order: 4

Calculated coef. from datafile

Fatigue properties

Fatigue T-N curves:  $N/R^m = K$

R: Tension ratio ( $T/BL$ )

N: Cycle number

Parameter	Value
Coef. m	5.050
Coef. K	166.000

### 2.2.3 Input material properties top chain

Line Name: Line[1] Anchor -> 180.0 360.0 540.0 720.0 900.0 1080.0 1260.0 1440.0 <- Fairlead

Length: 1465m

Segment Name: Top Chain

Length of the segment: 60 m

Predefined Segment: R3s studless

Import a segment database

Diameter: 0.122 m

Material properties

Mass in air per unit length: 300.657 kg/m

Mass in water per unit length: 261.361 kg/m

Friction coefficient: 1.000

Breaking load: 12689.7 kN

Dynamic properties

Effective drag diameter: 0.2196 m

Normal drag coef.: 0.800

Tangential drag coef.: 0.000

Normal inertia coef.: 1.000

Tangential added mass coef.: 0.500

Transverse friction coef.: 0.500

Proposed element length: 1 m

Number of data points per element: 5.000

Elasticity properties

Elasticity Coefficients

Coefficients of equation:

$$d/I = cst + a.T + b.T^2 + c.T^3 + d.T^4 + e.T^5$$

cst: 0.000000e+000

a: 8.707673e-007 1/kN

Use dynamic stiffness

Elastic Curve

T/BL = fct(d/I)

Fit order: 4

Calcul. coef. from datafile

Fatigue properties

Fatigue T-N curves:  $N.R^m = K$

R: Tension ratio (T/BL)

N: Cycle number

Coef. m: 3.000

Coef. K: 316.000

### 2.3 Input environmental loads condition

Short name: Env[1]

Title: Please enter a short description of the environment data

Nb of Waves: 1 Wave0 Wave1 Wave2 Wave3 Wave4

Wave description

Wave spectrum: Jonsnap

Spectrum parameters

Gamma: 1.36

Sigma1: 0.07

Sigma2: 0.09

Wave parameters

Significant height: 7.28 m

Modal peak period: 12.56 s

Min frequency: 0.015915 Hz

Max frequency: 0.300001 Hz

Heading: 0 deg

Random parameters

Seed of wave random generator: 0

Nof regular airy waves: 200

Wind Description

Wind spectrum: Constant

Wind parameters

Mean Velocity (m/s): 24.37 m/s

Heading: 0 deg

Nb env: 1

Set batch file from current environment

Set batch file from scatter diagram file

Wave0 Spectrum

Wave0 TS

Wave0 Headings

Current Description

Velocity: 1.39 m/s

Heading: 0 deg

### 2.4 Input site condition

Name of the mooring zone: Blok Masela

Center of the mooring area

Latitude: 0 0 0.00 N

Longitude: 0 0 0.00 E

Mooring area dimensions

S-N extent: 5000 m

W-E extent: 5000 m

Apply

Plane seabed definition

Water depth: 600 m

Slope (%): 0.000

Azimuth of the main slope line: 0 deg

Nb of visualisation bands for a sloped seabed (not used for calculations): 9

Specific seabed definition

Load a bathymetry file

Blok Masela

Static calculation tools

Lines BL ratio: 0.50

Turret Max Offset

Lines Failure Checking

Current position outputs

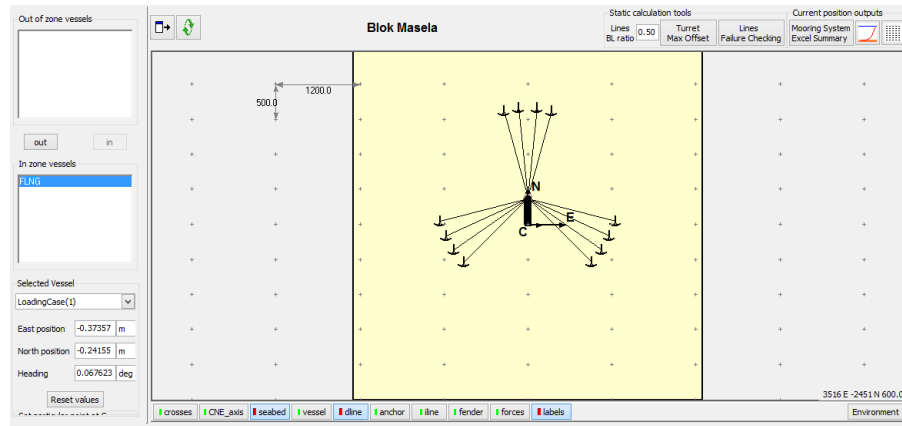
Mooring System

Excel Summary

2143 E -2505 N 600.0

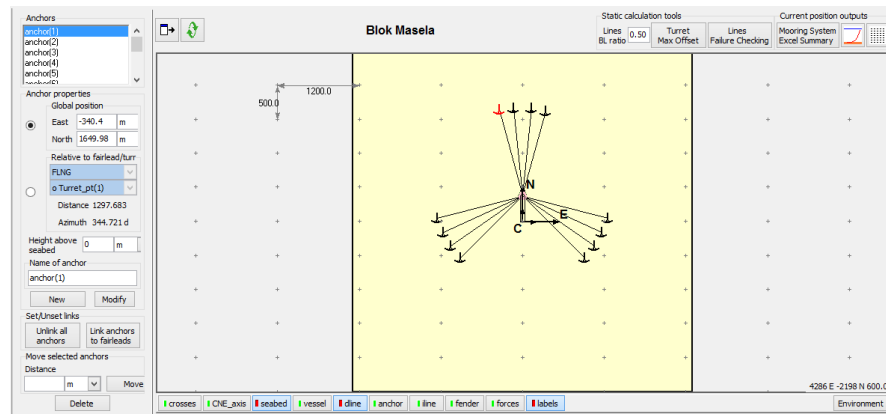
Environment

## 2.5 Input vessel setting

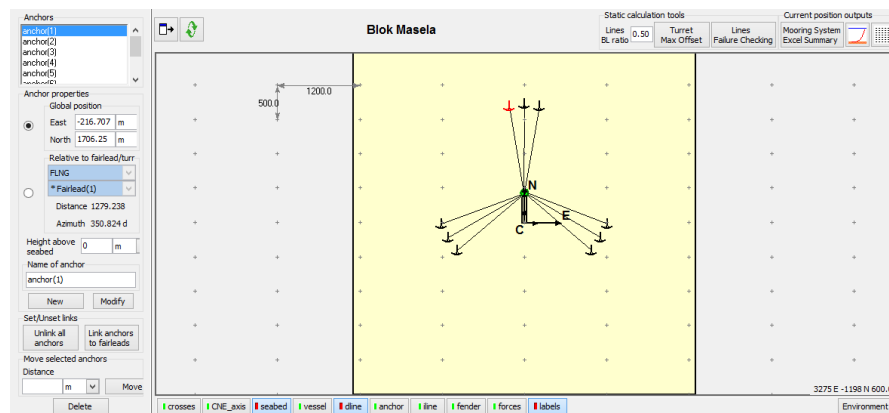


## 2.6 Input anchor settings

### 2.6.1 Konfigurasi 12 mooring lines



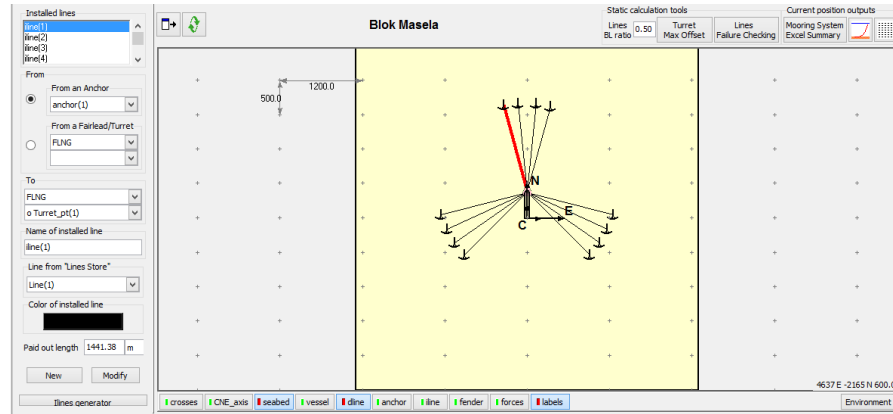
### 2.6.2 Konfigurasi 9 mooring lines



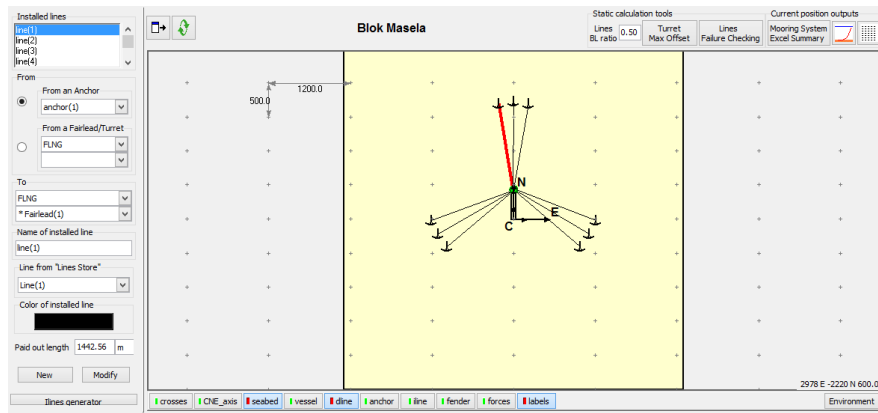


## 2.7 Input line settings

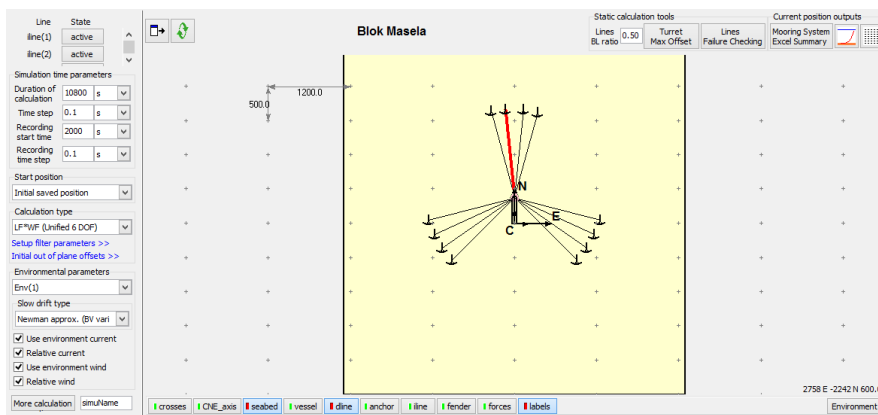
### 2.7.1 Konfigurasi 12 mooring lines



### 2.8.2 Konfigurasi 9 mooring lines



## 2.9 Input time domain setting



## LAMPIRAN B OUTPUT SOFTWARE

### 1. OUTPUT SOFTWARE HydroSTAR

```

Congratulation! Felicitations! Parabens!
CPU time of operation was      2.34 seconds
Hstar>model>hview
Hstar>model>hstat

=====***** HydroStar For Experts U7.1 *****=====
-----x64-----<c>BU/DR 1991-2013

HStat - Hydrostatic-property computations.
Project: Mesh by AMG from input file : test
User   :
Nb of bodies to be analysed      1
Nb symmetry of hull geometry    1
Nb panels on hulls              1087
Nb segments along waterlines    105
Nb panels over waterplanes      713
Nb panels over the free surface  0

# Constants used in computations
# Reference length : 1.000
# Water density (rho) : 1025.000
# Gravity acceleration : 9.810

# BODY No.1
# REFERENCE POINT : < 158.845 0.000 -7.997>
# BUOYANT CENTER : < 158.845 0.000 -7.997>
# HULL VOLUME : 0.42872E+06 m³m³m
# HULL SURFACE : 0.40054E+05 m²m²m

# WATERPLANE AREA : 0.27806E+05 m²m²m
# Ctre : < 153.935 0.000>
# Ixx : 0.11136E+08 BMxx 25.97500
# Ixy : 0.00000E+00 BMxy 0.00000
# Iyy : 0.36721E+09 BMyy 856.54367
Hstar>model>

```

#### 1.1 Addedmass

```

# Project :
# User   :
# File : AddedMass_11.dat
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : ADDED-MASS
#COMPONENT : 11
#UNIT : kg
#NBHEADING 5
#HEADING 0.00 45.00 90.00 135.00 180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 -1.768273E+07 -1.768273E+07 -1.768273E+07 -1.768273E+07 -1.768273E+07

```

```

0.2000 -5.046479E+07 -5.046479E+07 -5.046479E+07 -5.046479E+07 -5.046479E+07
0.3000 2.642513E+08 2.642513E+08 2.642513E+08 2.642513E+08 2.642513E+08
0.4000 4.378742E+07 4.378742E+07 4.378742E+07 4.378742E+07 4.378742E+07
0.5000 2.750088E+07 2.750088E+07 2.750088E+07 2.750088E+07 2.750088E+07
0.6000 1.951611E+07 1.951611E+07 1.951611E+07 1.951611E+07 1.951611E+07
0.7000 1.498032E+07 1.498032E+07 1.498032E+07 1.498032E+07 1.498032E+07
0.8000 1.229997E+07 1.229997E+07 1.229997E+07 1.229997E+07 1.229997E+07
0.9000 1.059986E+07 1.059986E+07 1.059986E+07 1.059986E+07 1.059986E+07
1.0000 9.555090E+06 9.555090E+06 9.555090E+06 9.555090E+06 9.555090E+06
1.1000 8.962372E+06 8.962372E+06 8.962372E+06 8.962372E+06 8.962372E+06
1.2000 8.666494E+06 8.666494E+06 8.666494E+06 8.666494E+06 8.666494E+06
1.3000 8.576077E+06 8.576077E+06 8.576077E+06 8.576077E+06 8.576077E+06
1.4000 8.557968E+06 8.557968E+06 8.557968E+06 8.557968E+06 8.557968E+06
1.5000 8.488493E+06 8.488493E+06 8.488493E+06 8.488493E+06 8.488493E+06
1.6000 8.376066E+06 8.376066E+06 8.376066E+06 8.376066E+06 8.376066E+06
1.7000 8.322847E+06 8.322847E+06 8.322847E+06 8.322847E+06 8.322847E+06
1.8000 8.335809E+06 8.335809E+06 8.335809E+06 8.335809E+06 8.335809E+06
#-----
#ENDFILE AddedMass_11.dat

```

## 1.2 Damping

```

# Project :
# User :
# File : Damping_11.dat
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : WAVE-DAMPING
#COMPONENT : 11
#UNIT : kg/s
#NBHEADING 5
#HEADING 0.00 45.00 90.00 135.00 180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 -6.106848E+03 -6.106848E+03 -6.106848E+03 -6.106848E+03 -6.106848E+03
0.2000 -1.188125E+06 -1.188125E+06 -1.188125E+06 -1.188125E+06 -1.188125E+06
0.3000 1.009760E+07 1.009760E+07 1.009760E+07 1.009760E+07 1.009760E+07
0.4000 5.967418E+06 5.967418E+06 5.967418E+06 5.967418E+06 5.967418E+06
0.5000 6.654248E+06 6.654248E+06 6.654248E+06 6.654248E+06 6.654248E+06
0.6000 6.617831E+06 6.617831E+06 6.617831E+06 6.617831E+06 6.617831E+06

```

```

0.7000 6.856023E+06 6.856023E+06 6.856023E+06 6.856023E+06 6.856023E+06
0.8000 6.744085E+06 6.744085E+06 6.744085E+06 6.744085E+06 6.744085E+06
0.9000 6.362635E+06 6.362635E+06 6.362635E+06 6.362635E+06 6.362635E+06
1.0000 5.842530E+06 5.842530E+06 5.842530E+06 5.842530E+06 5.842530E+06
1.1000 5.292249E+06 5.292249E+06 5.292249E+06 5.292249E+06 5.292249E+06
1.2000 4.769618E+06 4.769618E+06 4.769618E+06 4.769618E+06 4.769618E+06
1.3000 4.355495E+06 4.355495E+06 4.355495E+06 4.355495E+06 4.355495E+06
1.4000 4.122556E+06 4.122556E+06 4.122556E+06 4.122556E+06 4.122556E+06
1.5000 4.008256E+06 4.008256E+06 4.008256E+06 4.008256E+06 4.008256E+06
1.6000 3.815267E+06 3.815267E+06 3.815267E+06 3.815267E+06 3.815267E+06
1.7000 3.526578E+06 3.526578E+06 3.526578E+06 3.526578E+06 3.526578E+06
1.8000 3.232312E+06 3.232312E+06 3.232312E+06 3.232312E+06 3.232312E+06
#-----
#ENDFILE Damping_11.dat

```

### 1.3 Heave RAO

```

# Project :
# User   :
# File : heave.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION
#COMPONENT : 3
#UNIT : m/m
#NBHEADING 5
#HEADING 0.00 45.00 90.00 135.00 180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 9.953119E-01 9.977190E-01 1.000114E+00 9.976086E-01 9.951138E-01
350.7099 353.4347 0.0010 6.5376 9.2329
0.2000 9.409284E-01 9.709949E-01 1.002601E+00 9.547904E-01 9.058025E-01
321.3356 332.9356 0.0730 24.7966 34.1006
0.3000 3.220312E-01 6.447164E-01 1.030248E+00 8.161591E-01 6.820753E-01
288.0171 306.7744 359.2154 68.0731 99.9400
0.4000 7.775530E-02 3.361667E-01 1.129512E+00 4.258681E-01 1.304248E-01
351.3593 262.8862 356.0016 118.2381 229.4982
0.5000 1.447660E-01 1.356578E-01 1.277883E+00 1.323618E-01 2.089054E-01
311.1216 345.2812 332.9030 275.1387 33.3419

```

```

0.6000 8.777560E-02 1.009037E-01 6.799171E-01 1.393278E-01 1.054466E-01
321.2450 264.8411 294.8126 0.3633 234.7377
0.7000 3.891526E-02 3.670802E-02 2.548021E-01 4.202938E-02 4.772217E-02
343.7191 315.3733 296.1795 216.5182 134.6633
0.8000 2.045445E-02 1.352060E-02 1.091859E-01 1.304464E-02 2.688777E-02
17.5130 351.1179 317.1779 61.1627 80.3835
0.9000 1.137440E-02 6.377675E-03 5.111087E-02 1.074193E-02 1.638138E-02
58.4671 26.3563 347.6003 311.2793 63.1822
1.0000 6.338073E-03 3.736029E-03 2.527327E-02 8.186467E-03 8.797655E-03
111.6084 70.3679 26.3038 260.0273 84.5188
1.1000 4.497192E-03 1.994462E-03 1.395542E-02 5.979470E-03 4.577402E-03
176.2146 130.4298 71.8680 232.6661 165.5021
1.2000 3.616548E-03 8.697875E-04 8.456718E-03 4.243161E-03 2.855684E-03
234.5926 211.5407 115.8378 223.8994 276.3116
1.3000 2.752223E-03 5.217122E-04 4.636022E-03 2.772425E-03 1.517489E-03
301.0937 332.3597 156.1661 239.2729 69.0968
1.4000 2.356370E-03 6.313563E-04 1.936934E-03 1.700594E-03 8.242057E-04
1.9496 71.2178 207.6763 291.0816 284.6714
1.5000 1.936462E-03 6.151087E-04 1.135891E-03 1.143728E-03 4.205218E-04
71.4740 151.9146 290.1988 21.8772 201.1294
1.6000 1.483882E-03 5.100929E-04 9.352150E-04 1.006018E-03 3.334519E-04
147.0848 227.7593 340.4323 142.5984 159.6857
1.7000 1.163805E-03 2.409164E-04 4.027353E-04 7.791878E-04 3.073712E-04
228.7713 345.5136 22.9841 276.0022 144.5834
1.8000 9.276672E-04 2.848817E-04 1.790444E-04 6.246709E-04 2.805191E-04
316.1081 88.5224 117.4481 107.2823 163.6172
#-----
#ENDFILE heave.rao

```

## 1.4 Surge RAO

```

# Project :
# User   :
# File : surge.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION
#COMPONENT : 1
#UNIT : m/m

```

```

#NBHEADING 5
#HEADING      0.00      45.00      90.00      135.00      180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 9.896680E-01 7.012524E-01 2.126340E-04 7.013133E-01 9.897926E-01
259.4126 262.5189 359.0325 97.4801 100.5860
0.2000 9.354295E-01 6.748623E-01 3.189827E-03 6.945656E-01 9.719618E-01
223.1606 236.7488 348.3639 122.3601 135.3461
0.3000 3.620208E-01 4.157997E-01 2.635290E-02 3.213328E-01 1.988290E-01
245.4413 244.2355 171.4714 119.7294 116.2776
0.4000 3.142419E-02 2.443720E-01 1.263765E-02 2.100927E-01 6.353334E-02
139.4297 171.2332 166.8790 202.1924 298.2633
0.5000 7.632914E-02 5.318443E-02 2.267839E-02 2.135833E-02 8.125713E-02
226.0049 70.8424 147.5837 248.0590 152.2224
0.6000 1.552518E-02 3.138694E-02 2.083443E-02 3.967519E-02 4.110363E-02
314.2875 235.6099 107.5369 180.3271 50.4234
0.7000 9.064197E-03 1.353601E-02 1.138987E-02 2.293340E-02 3.047960E-02
18.8049 20.0188 96.8994 46.1570 314.2222
0.8000 6.180259E-03 8.648548E-03 7.724437E-03 1.868909E-02 2.272292E-02
48.5728 314.9980 108.9948 261.0747 257.0605
0.9000 5.685803E-03 9.108475E-03 6.134722E-03 1.192377E-02 1.607711E-02
92.7069 30.2751 125.7621 170.4232 246.1419
1.0000 5.535291E-03 4.433839E-03 4.968753E-03 7.407546E-03 1.177140E-02
135.5609 94.4970 141.6510 98.8238 276.9597
1.1000 4.307446E-03 1.699746E-03 3.798684E-03 5.655033E-03 7.360938E-03
177.5514 142.0788 156.8407 57.4488 341.6301
1.2000 3.052866E-03 6.923466E-04 2.627810E-03 4.681422E-03 4.694884E-03
250.8850 172.2023 172.9115 51.1665 106.6921
1.3000 3.433154E-03 3.831927E-04 1.628409E-03 4.202874E-03 1.814912E-03
307.4553 178.6851 188.5961 74.1825 265.5159
1.4000 3.191080E-03 4.743087E-04 8.059804E-04 3.504939E-03 7.822388E-04
19.7320 188.2971 200.7227 117.6515 100.3371
1.5000 2.806574E-03 7.427985E-04 2.315002E-04 2.435324E-03 4.144672E-04
81.3918 238.2808 182.8299 199.9639 43.1504
1.6000 2.423826E-03 9.605214E-04 1.943045E-04 1.871666E-03 6.990134E-04
149.4441 299.3596 107.5445 314.6714 10.0664
1.7000 1.990386E-03 9.316815E-04 1.544100E-04 1.558910E-03 8.862429E-04
228.7867 356.2565 114.6242 103.1324 341.7422
1.8000 1.649580E-03 5.962085E-04 2.883346E-05 1.178555E-03 8.675900E-04
317.7053 79.2050 219.9941 273.3557 344.7379
#-----
#ENDFILE surge.rao

```

## 1.5 Sway RAO

```

# Project :
# User   :
# File   : sway.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length   : 1.0000

```

```

# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION
#COMPONENT : 2
#UNIT : m/m
#NBHEADING 5
#HEADING 0.00 45.00 90.00 135.00 180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 1.579048E-17 6.953424E-01 9.859439E-01 6.953433E-01 7.507947E-17
167.6903 263.4193 270.0017 276.5841 282.1042
0.2000 1.235635E-17 6.363468E-01 9.386918E-01 6.363799E-01 7.132886E-17
75.0337 243.6897 270.0450 296.3897 306.6985
0.3000 3.319464E-18 4.745007E-01 8.333989E-01 4.752227E-01 6.988129E-17
199.8202 211.0172 270.8199 330.0907 351.3110
0.4000 3.385348E-18 2.283375E-01 7.446597E-01 2.325468E-01 2.634122E-17
256.8889 165.8857 274.5926 13.2615 27.1830
0.5000 3.852510E-18 2.939810E-02 5.874406E-01 4.177701E-02 1.278080E-17
105.3483 320.4575 280.7760 296.9617 234.3279
0.6000 2.697370E-18 7.311663E-02 4.459520E-01 7.794043E-02 8.167536E-18
226.1138 225.8966 292.8619 339.2593 72.2354
0.7000 3.672643E-18 1.174015E-02 3.287472E-01 1.857779E-02 6.636909E-18
2.5176 339.7303 311.0074 269.7858 220.0986
0.8000 3.561463E-18 1.525657E-02 2.392452E-01 1.413302E-02 1.917000E-17
31.0030 255.8489 335.2182 12.6907 318.2973
0.9000 4.073782E-19 1.058479E-02 1.752090E-01 1.522091E-02 8.222026E-18
198.5362 351.9849 5.2277 328.4671 136.3495
1.0000 2.648124E-18 3.944993E-03 1.301429E-01 9.941903E-03 2.439880E-18
329.0456 79.7992 39.8122 284.7701 179.1611
1.1000 7.332103E-19 9.217778E-04 9.558589E-02 6.092670E-03 4.314198E-18
135.6350 174.0932 78.2530 249.5841 323.4566
1.2000 4.568450E-19 6.442359E-04 6.845391E-02 4.421093E-03 2.013381E-18
27.0476 273.6080 123.0230 236.3797 167.4947
1.3000 3.121520E-19 6.678204E-04 5.154561E-02 3.521903E-03 1.524707E-18
7.3856 325.5093 175.1234 254.3696 215.1176
1.4000 4.090216E-19 6.296105E-04 4.118877E-02 2.819097E-03 1.616855E-18
237.1016 354.6255 228.1500 297.9293 254.5774
1.5000 1.458325E-19 2.690284E-04 3.038872E-02 1.759957E-03 6.885570E-19
347.2795 4.8249 284.0916 16.5680 184.1734
1.6000 1.600206E-19 2.554157E-04 2.331019E-02 1.556247E-03 7.920684E-19
120.0807 315.2729 350.7851 148.4482 305.2527
1.7000 6.190782E-20 2.841557E-04 1.958387E-02 1.274083E-03 1.298792E-19
129.0085 334.0175 55.3216 276.5704 65.0610

```

```

1.8000 1.668943E-19 1.661951E-04 1.419301E-02 1.038994E-03 4.387714E-19
93.2228 98.4120 125.5002 105.0106 34.3374

```

```

#-----

```

```

#ENDFILE sway.rao

```

## 1.6 Roll RAO

```

# Project :

```

```

# User :

```

```

# File : roll.rao

```

```

#

```

```

# Constants used in computations :

```

```

# Reference length : 1.0000

```

```

# Water density (rho) : 1025.0000

```

```

# Gravity acceleration : 9.8100

```

```

# Waterdepth : Inf.

```

```

# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)

```

```

# Forward speed : 0.0000 m/s

```

```

#

```

```

# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)

```

```

# MEANVALUE : 0.0000E+00

```

```

# AMP/PHASE

```

```

#-----

```

```

#RAOTYPE : MOTION

```

```

#COMPONENT : 4

```

```

#UNIT : deg/m

```

```

#NBHEADING 5

```

```

#HEADING 0.00 45.00 90.00 135.00 180.00

```

```

#---w(r/s)-----

```

```

0.1000 1.165410E-17 4.191319E-02 5.933792E-02 4.191319E-02 8.417980E-18
345.3805 262.7718 268.1445 273.5173 202.6028
0.2000 2.476105E-17 1.854934E-01 2.785562E-01 1.854793E-01 2.280282E-17
284.5526 243.9732 264.8422 285.7018 284.2773
0.3000 8.726401E-17 6.128303E-01 1.244960E+00 6.108676E-01 1.061319E-16
218.9995 205.9743 248.1874 290.0247 1.9310
0.4000 8.168352E-17 1.574906E-01 7.453059E-01 1.505280E-01 1.632819E-17
158.8952 108.9730 110.6532 108.3191 8.6920
0.5000 4.690452E-17 1.183720E-01 1.521918E-01 1.221237E-01 5.287818E-17
13.8680 110.8195 105.0138 74.7098 234.8137
0.6000 3.195949E-17 6.280311E-02 1.764816E-02 5.347295E-02 6.315702E-17
223.3751 196.4838 336.3015 1.5898 73.5045
0.7000 1.242264E-17 4.109484E-02 7.819914E-02 4.821787E-02 1.738264E-17
40.6585 156.0741 322.6942 54.1687 116.9602
0.8000 7.031814E-18 4.611980E-02 9.617829E-02 3.937309E-02 4.266479E-17
288.4427 232.0544 343.5910 352.3655 309.9704
0.9000 1.095987E-17 1.797871E-02 9.417970E-02 3.797564E-03 8.196758E-18
231.2183 294.3306 11.8165 340.3121 251.4897
1.0000 6.444515E-18 8.739855E-03 8.426109E-02 1.032552E-02 8.770857E-18
291.9954 302.0404 45.4800 58.6651 208.2978
1.1000 2.954441E-18 8.877878E-03 7.082806E-02 8.888647E-03 8.027789E-18
144.0769 341.0576 83.3216 42.8276 333.1245

```



```

1.2000 1.713421E-18 5.659180E-03 5.588676E-02 5.358989E-03 1.111981E-18
56.7531 39.0579 126.9848 40.0115 123.9190
1.3000 9.484724E-19 2.422236E-03 4.408387E-02 2.997616E-03 3.803691E-18
283.1788 116.2040 177.3139 62.9493 232.6258
1.4000 6.601385E-19 1.550319E-03 3.589910E-02 1.238598E-03 1.423486E-18
203.4642 265.9744 231.0034 113.9921 275.3764
1.5000 2.603254E-19 2.775887E-03 2.756997E-02 1.159729E-03 5.165994E-19
131.9148 347.4513 288.6521 262.5966 237.7332
1.6000 2.392913E-19 2.461617E-03 2.229911E-02 1.736743E-03 6.786543E-19
93.1663 48.6599 354.1914 339.9035 270.3607
1.7000 8.315159E-20 1.172414E-03 1.850499E-02 5.223516E-04 7.174107E-19
167.5735 132.5536 57.2688 108.2485 120.5394
1.8000 2.240508E-19 6.934380E-04 1.349715E-02 8.691730E-04 5.162621E-19
66.8712 240.1913 128.1678 297.6342 355.6349
#-----
#ENDFILE roll.rao

```

## 1.7 Pitch RAO

```

# Project :
# User :
# File : pitch.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION
#COMPONENT : 5
#UNIT : deg/m
#NBHEADING 5
#HEADING 0.00 45.00 90.00 135.00 180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 5.824441E-02 4.124542E-02 2.295117E-04 4.124806E-02 5.825044E-02
80.3597 83.1718 0.7942 276.8275 279.6393
0.2000 2.257184E-01 1.624096E-01 8.146570E-04 1.668951E-01 2.342102E-01
48.1006 60.3505 169.9376 298.9304 310.7034
0.3000 3.236419E-01 3.028806E-01 9.931539E-03 2.042562E-01 1.665775E-01
46.8640 58.6127 334.2341 310.2914 332.9813
0.4000 2.283907E-01 3.987125E-01 5.552976E-03 3.603611E-01 2.585636E-01
323.4249 356.7325 218.4071 17.6999 67.4114

```

```

0.5000 1.315637E-01 2.438325E-01 1.435789E-02 2.718646E-01 1.177840E-01
12.2189 299.1542 127.8638 78.0731 262.3069
0.6000 7.849462E-02 1.127023E-01 1.522216E-02 9.485186E-02 7.262704E-02
342.5252 332.0951 37.1376 247.4154 69.2724
0.7000 3.904208E-02 3.459009E-02 7.125756E-03 3.925148E-02 3.556097E-02
348.9045 303.0299 29.8881 7.5752 313.9353
0.8000 2.001961E-02 1.899534E-02 5.295466E-03 2.415012E-02 1.858955E-02
22.6510 346.2102 51.3119 258.1945 257.2735
0.9000 1.140132E-02 9.362628E-03 4.677298E-03 1.014916E-02 1.045516E-02
67.6535 36.0390 74.9009 180.5822 251.3343
1.0000 7.416513E-03 4.448330E-03 4.222538E-03 3.868528E-03 7.723606E-03
118.0638 91.8628 97.4935 116.1088 286.7927
1.1000 4.879102E-03 1.957406E-03 3.582285E-03 2.234695E-03 4.947257E-03
172.0001 158.0999 118.2601 69.8667 343.8364
1.2000 3.529562E-03 9.790925E-04 2.610086E-03 1.933534E-03 2.470366E-03
237.0544 248.1103 140.3182 61.4709 102.2603
1.3000 2.992131E-03 8.464079E-04 1.588723E-03 1.889652E-03 1.289597E-03
298.3488 343.8842 168.1912 83.2357 265.7731
1.4000 2.396156E-03 8.239496E-04 7.721565E-04 1.649173E-03 4.617850E-04
5.3504 65.9812 211.6223 127.3179 112.3516
1.5000 1.852119E-03 7.017668E-04 4.560519E-04 1.240100E-03 1.958560E-04
71.4809 139.9746 287.5467 201.8318 36.8660
1.6000 1.434893E-03 3.745305E-04 4.368486E-04 7.940315E-04 2.616246E-04
145.4069 229.2984 347.0701 311.3596 4.9381
1.7000 1.128876E-03 3.143639E-04 3.030555E-04 6.419526E-04 3.121694E-04
228.0865 336.6020 28.1234 111.4374 335.5240
1.8000 9.159896E-04 2.858110E-04 1.018074E-04 4.929574E-04 2.786018E-04
316.9946 96.9306 55.8356 264.8820 341.6708
#-----
#ENDFILE pitch.rao

```

## 1.8 Yaw RAO

```

# Project :
# User :
# File : yaw.rao
#
# Constants used in computations :
# Reference length : 1.0000
# Water density (rho) : 1025.0000
# Gravity acceleration : 9.8100
# Waterdepth : Inf.
# Ref.pt incident wave : ( 0.0000 0.0000)
# Forward speed : 0.0000 m/s
#
# Reference point of body 1: ( 158.890 0.000 9.990)
# MEANVALUE : 0.0000E+00
# AMP/PHASE
#-----
#RAOTYPE : MOTION

```

```

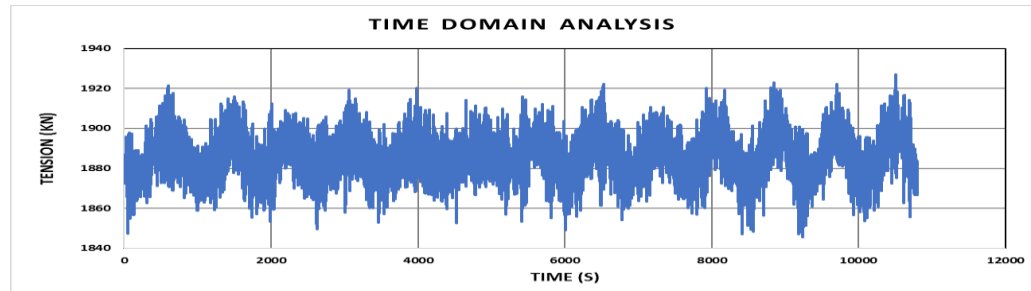
#COMPONENT : 6
#UNIT      : deg/m
#NBHEADING 5
#HEADING    0.00    45.00    90.00    135.00    180.00
#---w(r/s)-----
0.1000 1.038875E-17 2.949051E-02 9.525018E-04 2.950780E-02 8.063668E-18
343.9767 174.2664 270.7295 5.7334 354.3476
0.2000 8.912674E-19 1.103969E-01 1.621985E-04 1.105817E-01 1.513446E-17
161.8081 152.9751 33.3775 27.0172 26.2716
0.3000 3.869284E-18 2.038815E-01 4.052849E-03 2.068265E-01 2.316247E-17
189.4989 119.1143 52.7181 60.9157 77.0774
0.4000 2.773027E-18 2.260426E-01 5.543040E-03 2.315353E-01 3.568493E-17
208.4799 74.7426 253.4430 108.4138 143.8547
0.5000 1.893975E-18 1.263146E-01 3.522024E-03 1.314980E-01 5.166565E-18
285.5247 15.8592 234.3867 166.6579 267.7238
0.6000 3.788237E-18 2.145007E-02 3.804778E-03 2.772598E-02 3.776370E-18
222.1427 150.2059 218.0769 88.5468 292.8973
0.7000 1.286681E-18 3.496156E-02 4.280037E-03 3.810516E-02 8.680546E-18
64.9603 59.8201 225.1722 161.8422 76.3138
0.8000 8.134939E-19 1.318919E-02 4.509927E-03 2.031471E-02 4.739140E-18
94.4691 162.8109 239.8149 103.4604 57.8534
0.9000 1.977592E-18 2.261927E-03 4.615815E-03 3.136070E-03 2.318287E-18
250.8825 73.7131 256.5956 45.8866 346.3769
1.0000 1.158939E-18 4.496432E-03 4.364969E-03 3.409457E-03 2.089331E-19
11.6031 164.4055 276.4619 234.7307 0.6615
1.1000 5.612401E-19 3.389160E-03 3.694631E-03 4.433031E-03 1.171962E-18
111.8011 247.0095 302.2779 208.0493 323.5376
1.2000 2.223460E-19 2.195895E-03 2.959025E-03 3.361235E-03 1.900565E-18
78.0918 311.4093 338.7882 203.5362 260.8272
1.3000 4.931512E-19 1.232955E-03 2.531936E-03 2.134862E-03 3.603333E-19
280.7074 3.6730 22.4221 232.0433 120.5931
1.4000 3.212352E-19 5.783054E-04 2.172565E-03 1.566235E-03 9.337138E-20
269.7594 25.7085 66.0062 308.9377 233.0071
1.5000 8.644956E-20 2.691744E-04 1.635295E-03 1.891328E-03 2.743951E-19
130.8306 11.2573 112.4213 34.6981 128.3949
1.6000 8.599464E-20 1.288742E-04 1.139286E-03 1.396706E-03 3.712147E-19
294.1400 13.1972 171.8125 127.0512 255.7202
1.7000 5.230334E-20 1.803855E-04 8.788610E-04 1.008017E-03 5.438194E-19
223.0370 235.2149 238.8523 292.5143 328.7228
1.8000 3.904795E-20 2.587416E-04 6.456896E-04 8.411620E-04 3.568962E-19
95.5841 251.2871 310.9938 94.3621 137.2895
#-----
#ENDFILE yaw.rao

```

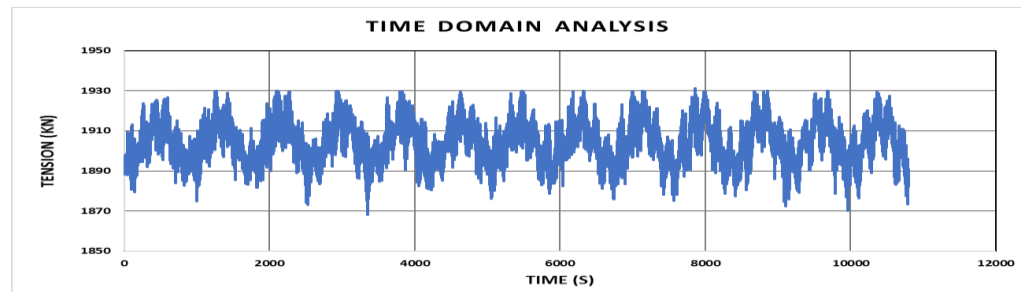
## 2. OUTPUT SOFTWARE ARIANE

### 2.1 TENSION KONFIGURASI 12 *MOORING LINES*

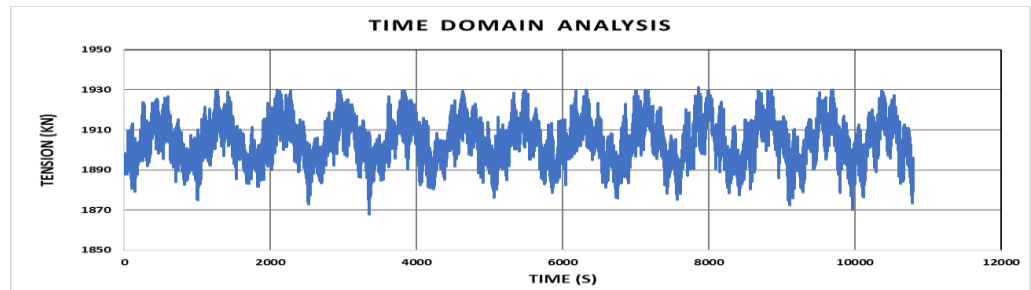
#### 2.1.1 Tension line 1



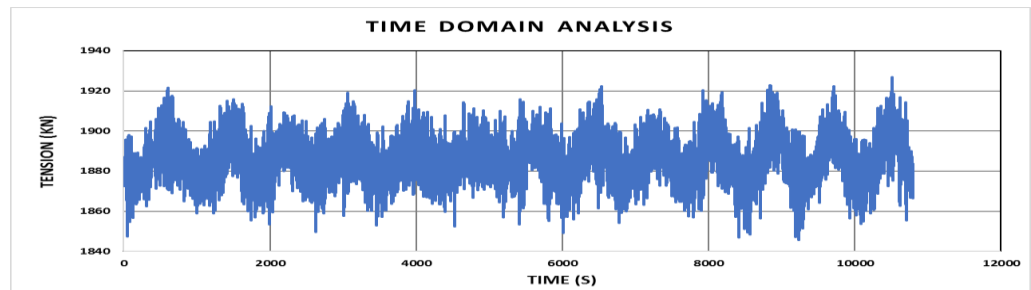
#### 2.1.2 Tension line 2



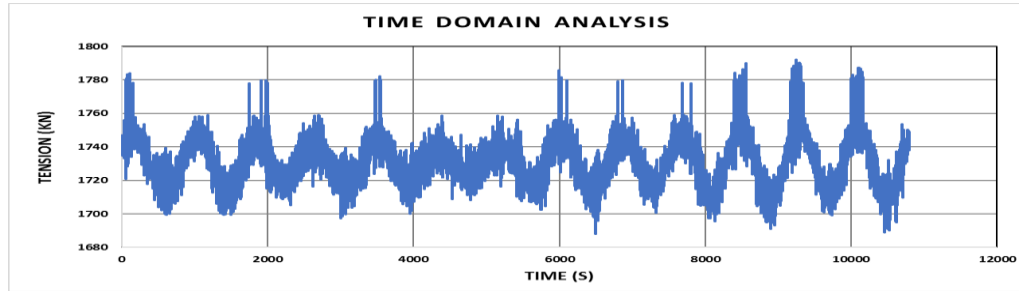
#### 2.1.3 Tension line 3



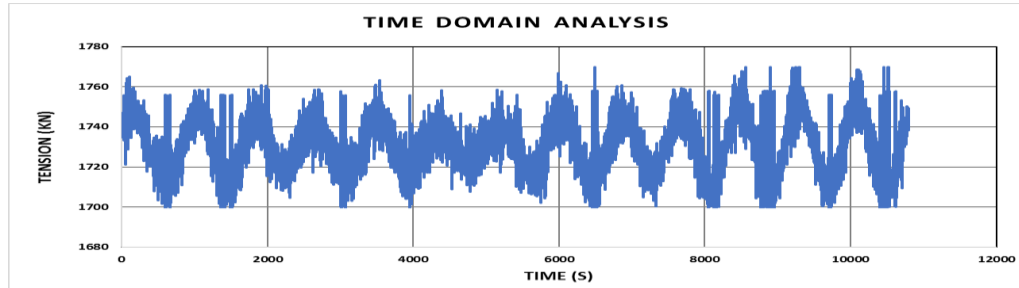
#### 2.1.4 Tension line 4



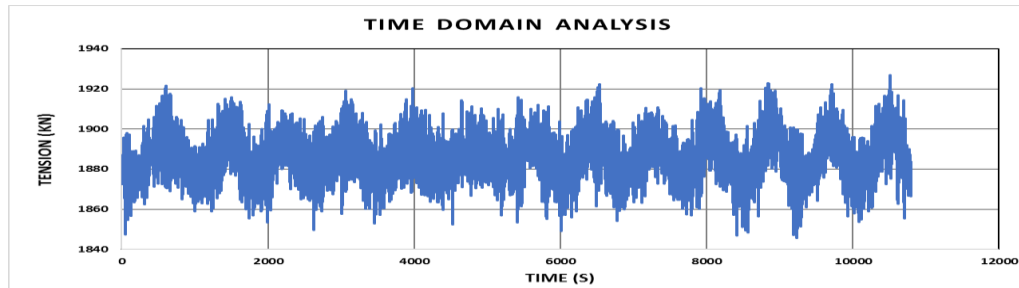
### 2.1.5 Tension line 5



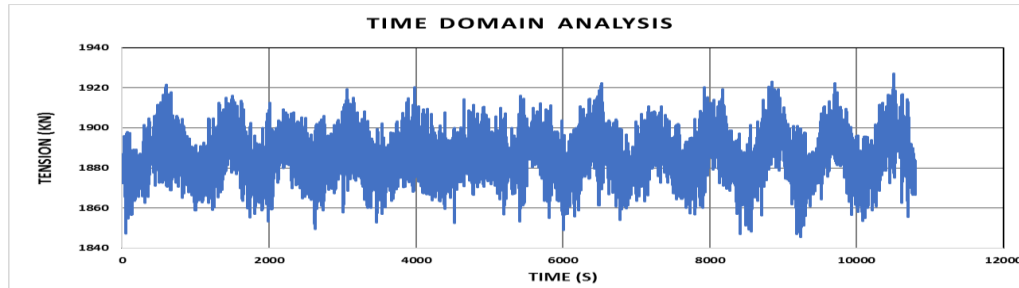
### 2.1.6 Tension line 6



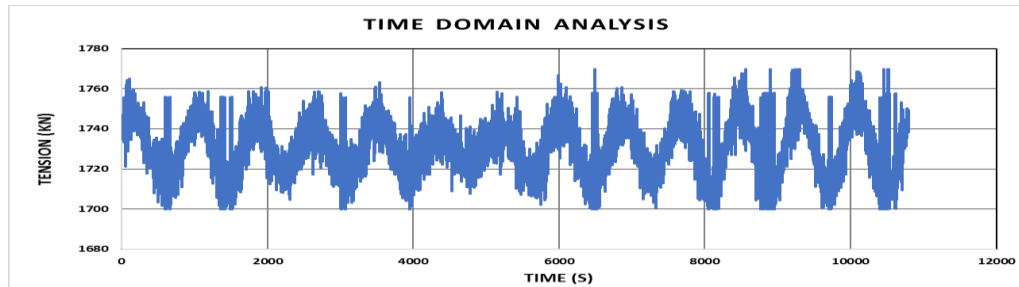
### 2.1.7 Tension line 7



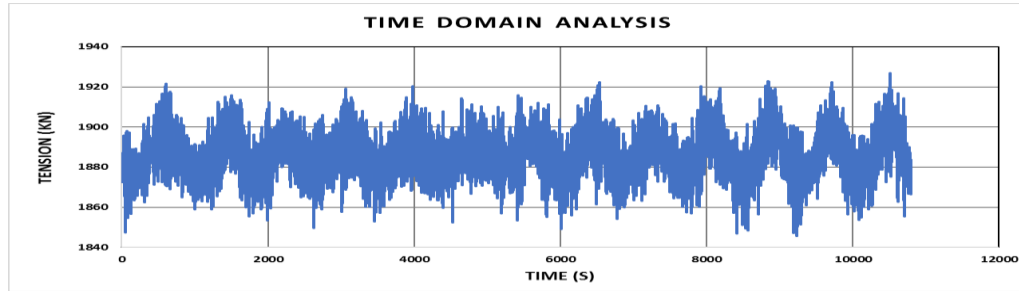
### 2.1.8 Tension line 8



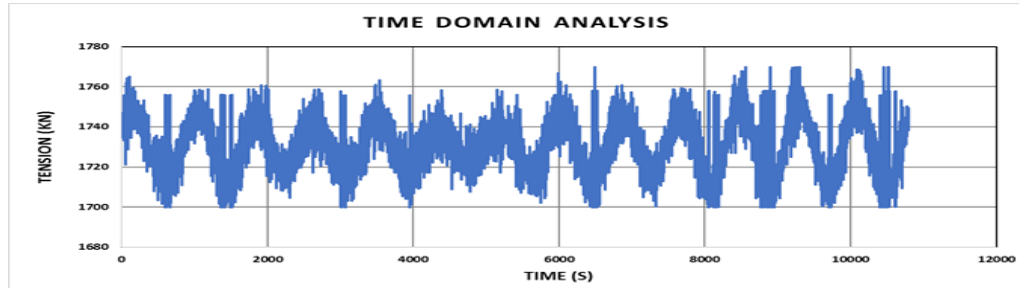
### 2.1.9 Tension line 9



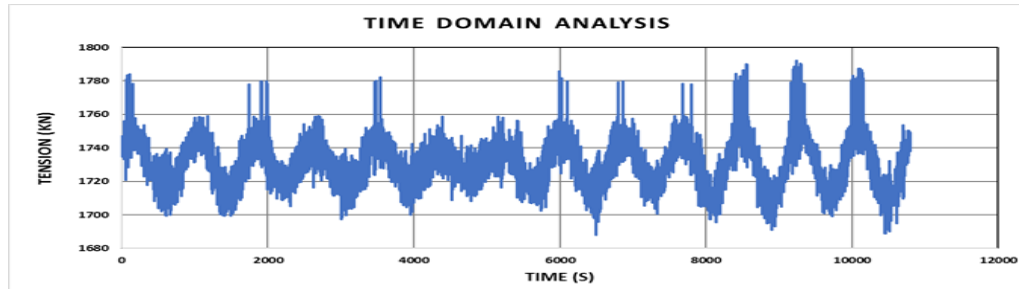
### 2.1.10 Tension line 10



### 2.1.11 Tension line 11

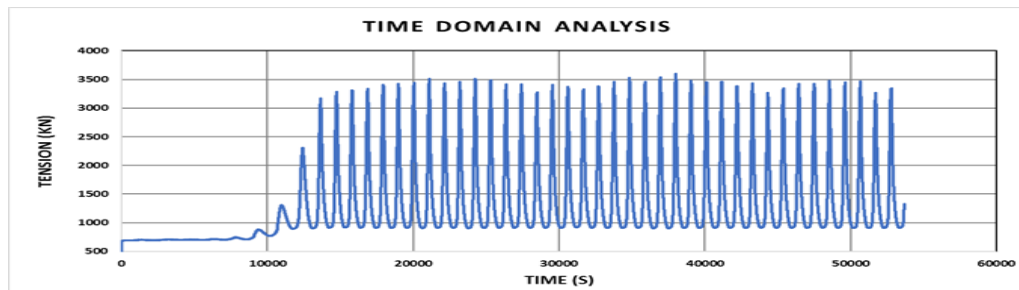


### 2.1.12 Tension line 12

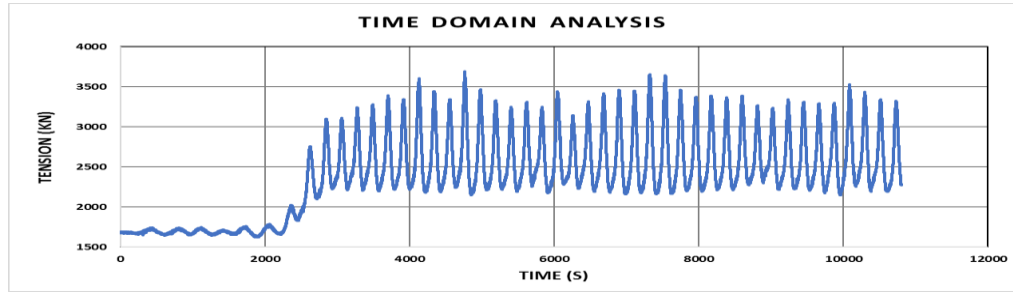


## 2.2 TENSION KONFIGURASI 9 *MOORING LINES*

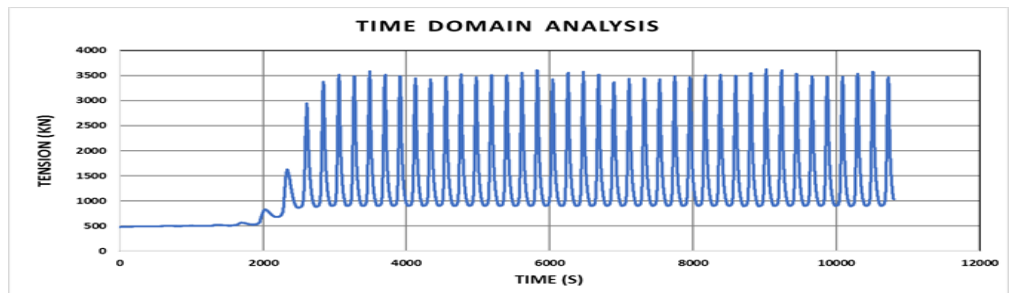
### 2.2.1 Tension line 1



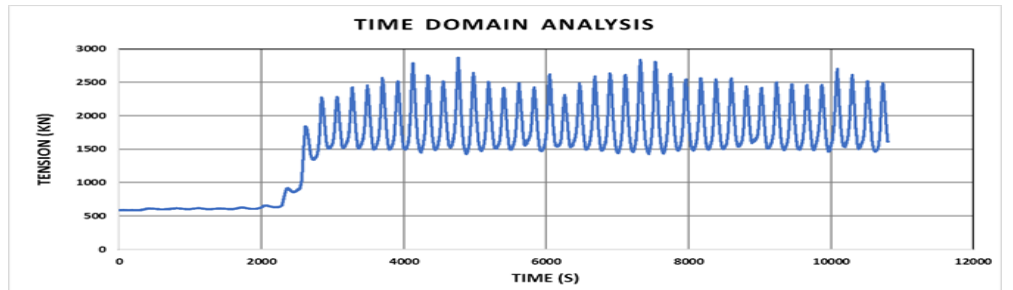
### 2.2.2 Tension line 2



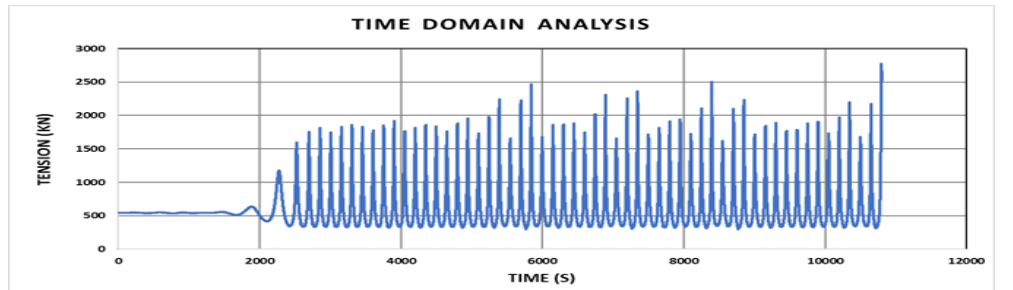
### 2.2.3 Tension line 3



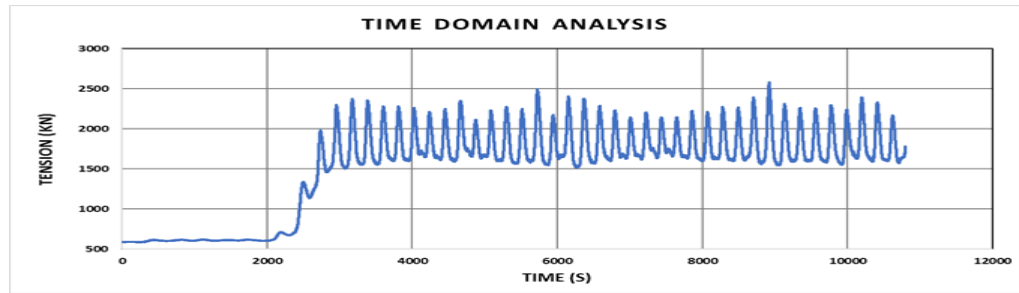
### 2.2.4 Tension line 4



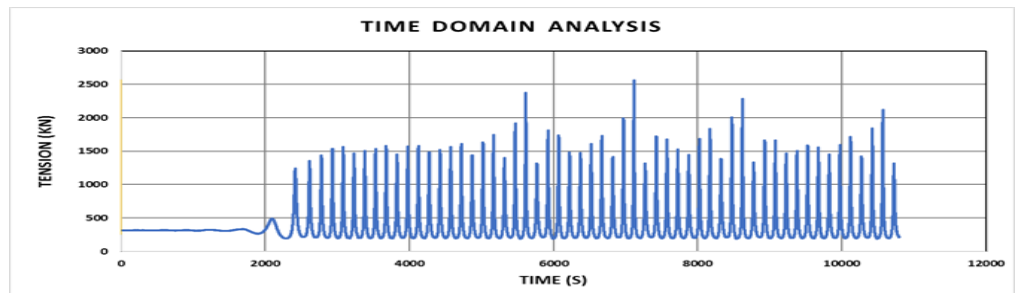
### 2.2.5 Tension line 5



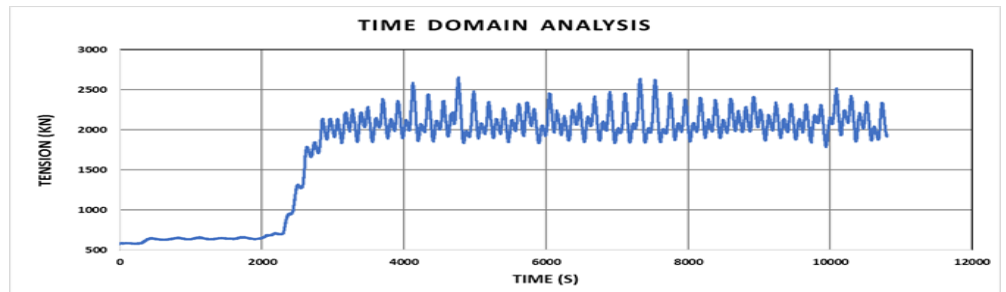
### 2.2.6 Tension line 6



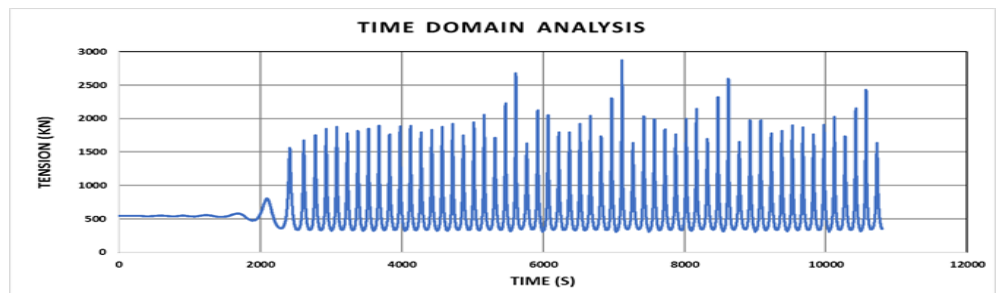
### 2.2.7 Tension line 7



### 2.2.8 Tension line 8



### 2.2.9 Tension line 9





## BIODATA PENULIS



Patria Rahmadhani dilahirkan di Bandung pada tanggal 11 Februari 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan pendidikan dasar di SD Kartika Siliwangi 4 Cimahi pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan pendidikan ke Bandung pada Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 5 Bandung, tahun 2007-2010 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Bandung pada tahun 2010-2013. Lulus dari SMA, penulis melanjutkan kuliah

jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan pada tahun 2013-2017. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dalam kampus salah satunya adalah menjadi anggota dan pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan bidang PSDM. Penulis juga pernah menjadi panitia dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan diantaranya menjadi panitia dalam 9<sup>th</sup> International Conference on Marine Technology (MARTEC) pada tahun 2014 dan menjadi panitia ahli bidang *public relation* OCEANO 2014 dan OCEANO 5. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan untuk bekerja praktek di SIEMENS FABRICATION YARD, Batam selama 2 bulan .

Kontak Penulis :

Email : patriarahmadhani@gmail.com

Telepon : +62 82121542008